

HIDROLÓGIAI KÖZLÖNY

LIX. Hidrobiológus Napok

Tihany, 2017. október 4-6.

A HIDROBIOLÓGIA HELYE A VÍZTUDOMÁNYOKBAN

Szerkesztette:

Dr. Bíró Péter akadémikus
MHT Limnológiai Szakosztály elnöke

Dr. Tóth Viktor
MHT Limnológiai Szakosztály titkára



Magyar Hidrológiai Társaság
Limnológiai Szakosztálya

Budapest

Magyar Tudományos Akadémia
Ökológiai Kutatóközpont
Balatoni Limnológiai Intézet
Tihany

Magyar Tudományos Akadémia
Veszprémi Területi Bizottsága

Veszprém

A MAGYAR HIDROLÓGIAI TÁRSASÁG LAPJA • 98. ÉVF. KÜLÖNSZÁM • 2018
HUNGARIAN JOURNAL OF HYDROLOGY • VOL 98. SPECIAL ISSUE • 2018





Hidrológiai Közlöny

A Magyar Hidrológiai Társaság lapja
Megjelenik háromhavonként

Főszerkesztő:

Fehér János

Szakszerkesztők:

Ács Éva

Konecsny Károly

Nagy László

Szerkesztőbizottság elnöke:

Szöllősi-Nagy András

Szerkesztőbizottság tagjai:

Ács Éva, Baranyai Gábor, Bezdán Mária, Bíró Péter, Bíró Tibor, Bogárdi János, Csörnyei Géza, Engi Zsuzsanna, Fehér János, Fejér László, Fekete Balázs, Gampel Tamás, Gayer József, Hajnal Géza, Ijjas István, Istvánovics Vera, Józsa János, Kling Zoltán, Konecsny Károly, Kovács Sándor, Major Veronika, Melicz Zoltán, Nagy László, Rákosi Judit, Rátky István, Román Pál, Szabó János Adolf, Szilágyi Ferenc, Szilágyi József, Szilágyi Lajos, Szolgyai János, Szűcs Péter, Tamás János, Vágas István, Vekerdy Zoltán

Kiadó:

Magyar Hidrológiai Társaság
1091 Budapest, Üllői út 25. IV. em.
Tel: +36-(1)-201-7655
Fax: +36-(1)-202-7244
Email: titkarsag@hidrologia.hu
Honlap: www.hidrologia.hu
A Kiadó képviselője: Szilágyi Lajos, a Magyar Hidrológiai Társaság elnöke

Hirdetés:

Gampel Tamás, a Magyar Hidrológiai Társaság főtítkára
1091 Budapest, Üllői út 25. IV. em.
Telefon: (1)-201-7655 Fax: (1)-202-7244
Email: fotitkar@hidrologia.hu

Indexed in:

Appl. Mech.; Rew. Chem.; Abstr. Fluidex;
Geotechn. Abstr.; Meteor / Geostrophys.
Abstr. Sei.; Water Res. Abstr.
Index: 25374
HU ISSN 0018-1323

Tartalomjegyzék

Bíró Péter: Megnyitó	5
SZAKCIKKEK	
Baranya Sándor, Fleit Gábor, Józsa János, Szalóky Zoltán, Tóth Balázs és Erős Tibor: Halak élőhely preferencia vizsgálatának támogatása számítógépes hidromorfológiai modellezéssel	6
Boross Nóra, Czeglédi István, Preiszner Bálint, Burányi Máté, Boros Gergely, Erős Tibor, Kern Bernadett, Specziár András, Takács Péter, Vitál Zoltán: Galandfereg (<i>Ligula sp.</i>) fertőzés hatása a balatoni folyami gébek (<i>Neogobius fluviatilis</i>) kondíciófaktorára és ivarszerv tömegére	15
Fleit Gábor, Baranya Sándor, Józsa János: Hajók keltette hullámzás hatásának feltárása terepi mérési és számítógépes modellezési eszközökkel a litorális zónában	22
Fózer Melinda, Cserháti Mátyás, Teszárné Nagy Mariann, Balázs Adrienn, Risa Anita, Berényi Ágnes, Kriszt Balázs: A Zagyva folyót érő szennyvízkibocsátások hatásának vízkémiai és ökotoxikológiai vizsgálata Jászfényszarutól Szolnokig	28
Koleszár Gergő, Csizmár Aliz, Nagy Zoltán, Szabó Sándor: Denzitásfüggő kölcsönhatások hínárnövények között	33
Körmendi Kitti, Lengyel Edina, Stenger-Kovács Csilla: Kovaalga fajok trait- és guild-alapú vizsgálatának szerepe kis szikes tavak ökológiai állapotfelmérésében	38
Lippai Anett, Kari András, Reskóné Nagy Mária: A Legionella baktériumok jelenléte, előfordulása épített vizes környezetben	43
Lippai Anett, Szabó Attila, Felföldi Tamás, Tóth Erika: A Széchenyi gyógyfürdő mikrobiológiai vizsgálata	47
Maroda Ágnes, Sály Péter: Halak testhossz-függő mikroélőhely-használata középhegységi patakokban: esettanulmány a Zala vízgyűjtőjén	52
Megyes Melinda, Aszalós Júlia Margit, Móga János, Márialigeti Károly, Borsodi Andrea: A Máramarosi- medence sós tavainak baktériumközösségei	57
Simon Brigitta, Simon Szabina, Kucserka Tamás, Anda Angéla Az érdes tócsagaz (<i>Ceratophyllum demersum</i>) lebontási ütemének vizsgálata a Kis-Balaton Ingói berkében	62
Szanyi Kálmán, Szanyi Szabolcs: Adatok Kárpátalja tegzes (Trichoptera) faunájához	66
Szeles Júlia, Tamás Márta, Krakomperger Márton, Bozóki Tamás, Krasznai Eszter, Gyulai István, Kókai Zsuzsanna és Várbíró Gábor: Vízi makrogerinctelen taxonok megjelenése Ipoly menti időszakos vízterekben	71
Szuróczi Sára, Szabó Attila, Korponai Kristóf, Felföldi Tamás, Márialigeti Károly, Tóth Erika: A Fertő vizét és üledékét alkotó baktériumközösségek vizsgálata újgenerációs DNS-szekvenálással	78

Takács Péter, Czeglédi István, Ferincz Árpád, Sály Péter, Specziár András, Vitál Zoltán, Weiperth András, Erős Tibor: Halállományok fajgazdagsága és a védett halfajok elterjedés-mintázata magyarországi vízfolyásokban	86
Tugyi Nóra, Kovács W. Attila, Vörös Lajos, Boros Emil, Tóth Viktor és Somogyi Boglárka: Fitoplankton és bakterioplankton produkció a Fertő nyílt vízében és nádasában	91
Zavanyi Györgyi, Braun Mihály, Laczovics Attila, Berényi Ervin, Szabó Sándor: Vizi makrofítonok gadolínium- kontrasztanyag mobilizációja	97
Zsuga Katalin, Tóth Flórián, Kerepeczki Éva, Berzi-Nagy László: Ceriodaphnia rigaudi (Richard 1894) – Új Cladocera faj megjelenése a hazai faunában	102
SZAKOSZTÁLYI BESZÁMOLÓ	
Bíró Péter és Tóth Viktor: Beszámoló a Magyar Hidrológiai Társaság Limnológiai Szakosztálya 2014-2017. közötti tevékenységéről	106



Hungarian Journal of Hydrology

Journal of the Hungarian Hydrological Society
Published quarterly

Editor-in-Chief:

János FEHÉR

Assistant Editors:

Éva ÁCS
Károly KONECSNY
László NAGY

Editorial Board Chairman:

András SZÖLLŐSI-NAGY

Editorial Board Members:

Éva ÁCS, Gábor BARANYAI, Mária BEZDÁN,
Péter BÍRÓ, Tibor BÍRÓ, János BOGÁRDI, Géza
CSÖRNYEI, Zsuzsanna ENGI, János FEHÉR,
László FEJÉR, Balázs FEKETE, Tamás GAMPEL,
József GAYER, Géza HANAL, István IJAS, Vera
ISTVÁNOVICS, János JÓZSA, Zoltán KLING,
Károly KONECSNY, Sándor KOVÁCS, Veronika
MAJOR, Zoltán MELICZ, László NAGY, Judit
RÁKOSI, István RÁTKY, Pál ROMÁN, János
Adolf SZABÓ, Ferenc SZILÁGYI, József
SZILÁGYI, Lajos SZLÁVIK, János SZOLGAY,
Péter SZÜCS, János TAMÁS, István VÁGÁS,
Zoltán VEKERDY

Publisher:

Hungarian Hydrological Society
H-1091 Budapest, Üllői út 25., Hungary
Tel: +36-(1)-201-7655; Fax: +36-(1)-202-7244;
Email: titkarsag@hidrologia.hu
Web: www.hidrologia.hu
Represented by: Lajos SZLÁVIK, President
of the Hungarian Hydrological Society
Email: titkarsag@hidrologia.hu

Advertising:

Tamás GAMPEL, Secretary General of the
Hungarian Hydrological Society
H-1091 Budapest, Üllői út 25., Hungary
Phone: +36-(1)-201-7655. Fax: +36-(1)-202-7244
Email: fotitkar@hidrologia.hu

Indexed in:

Appl. Mech.; Rew. Chem.; Abstr.
Fluidex.; Geotechn. Abstr.; Meteor /
Geostrophys. Abstr. Sei.; Water Res.
Abstr.

Index: 25374

HU ISSN 0018-1323

Contents

Péter BÍRÓ: Opening	5
SCIENTIFIC PAPERS	
Sándor BARANYA, Gábor FLEIT, János JÓZSA, Zoltán SZALÓKY, Balázs TÓTH, Tibor ERŐS: Investigation of the habitat preference of riverine fish by numerical hydromorphological modelling	6
Nóra BOROSS, István CZEGLÉDI, Bálint PREISZNER, Máté BURÁNYI, Gergely BOROS, Tibor ERŐS, Bernadett KERN, András SPECZIÁR, Péter TAKÁCS, Zoltán VITÁL: The effect of tapeworm (<i>Ligula</i> sp.) infection on the condition factor and gonad weight of monkey goby (<i>Neogobius fluviatilis</i>) in Lake Balaton	15
Gábor FLEIT, Sándor BARANYA, János JÓZSA: Investigation of ship induced waves in the littoral zone by means of field and computational methods	22
Melinda FÓZER, Mátyás CSERHÁTI, Mariann TESZÁRNÉ NAGY, Adrienn BALÁZS, Anita RISA, Ágnes BERÉNYI, Balázs KRISZT: Water chemical and ecotoxicological analysis of the effect of sewage emissions into the Zagyva River from Jászfényszaru to Szolnok	28
Gergő KOLESZÁR, Aliz CSIZMÁR, Zoltán NAGY, Sándor SZABÓ: Density dependent interactions between aquatic plants	33
Kitti KÖRMENDI, Edina LENGYEL, Csilla STENGER- KOVÁCS: The role of the trait- and guild-based investigation of diatom species in the ecological status assessment of soda pans	38
Anett LIPPAI, András KARI, Mária RESKÓÉ NAGY: The presence, occurrence of <i>Legionella</i> in constructed aquatic environments	43
Anett LIPPAI, Attila SZABÓ, Tamás FELFÖLDI, Erika TÓTH: Microbiological investigations in Széchenyi thermal bath	47
Ágnes MARODA, Péter SÁLY: Size-dependent microhabitat use of fishes in submontan streams: a case study on Zala catchment	52
Melinda MEGYES, Júlia Margit ASZALÓS, János MÓGA, Károly MÁRIALIGETI, Andrea BORSODI: Halophilic bacterial communities inhabiting salt lakes in the Maramureş Basin	57
Brigitta SIMON, Szabina SIMON, Tamás KUCSERKA, Angéla ANDA: Investigation of <i>Ceratophyllum</i> <i>demersum</i> 's decomposition rate in Ingói Bay, Kis-Balaton Wetland	62
Kálmán SZANYI, Szabolcs SZANYI: New data on the caddisfly (Trichoptera) fauna of Transcarpathia	66
Júlia SZELES, Márta TAMÁS, Márton KRAKOMPERGER, Tamás BOZÓKI, Eszter KRASZNAI, István GYULAI, Zsuzsanna KÓKAI, Gábor VÁRBÍRÓ: Appearance of freshwater macroscopic invertebrate taxa in the ponds near the River Ipoly	71

Sára SZURÓCZKI, Attila SZABÓ, Kristóf KORPONAI, Tamás FELFÖLDI, Károly MÁRIALIGETI, Erika TÓTH: Bacterial communities inhabiting the water and sediment of Lake Fertő as revealed by next-generation DNA sequencing	78
Péter TAKÁCS, István CZEGLÉDI, Árpád FERINCZ, Péter SÁLY, András SPECZIÁR, Zoltán VITÁL, András WEIPERTH, Tibor ERŐS: Species richness, and distribution patterns of protected species in Hungarian running waters	86
Nóra TUGYI, Attila KOVÁCS W., Lajos VÖRÖS, Emil BOROS, Viktor TÓTH, Boglárka SOMOGYI: Production of phytoplankton and bacterioplankton in the open water and within the reed belt of Lake Fertő/Neusiedler See	91
Györgyi ZAVANYI, Mihály BRAUN, Attila LACZOVICS, Ervin BERÉNYI, Sándor SZABÓ: Mobilisation of gadolinium contrast agent into aquatic plants	97
Katalin ZSUGA, Flórián TÓTH, Éva KEREPECZKI, László BERZI-NAGY: Ceriodaphnia rigaudi (Richard 1894) – Presence of a new Cladocera species in the Hungarian fauna ...	102
SECTION REPORT	
Péter BÍRÓ és Viktor TÓTH: Report on activities of the Hungarian Hydrological Society's Limnology Section between 2014 and 2017	106

Megnyitó



Prof. Dr. Bíró Péter akadémikus, a Magyar Hidrológiai Társaság Limnológiai Szakosztályának elnöke nyitotta meg *A hidrobiológia helye a víztudományokban* címmel 2017. október 4-6. között megtartott LIX. Hidrobiológus Napokat.

Tisztelt Polgármester Úr, Elnök-Vezérigazgató Úr, Főigazgató Úr! Kedves Kollégák!

Tisztelettel köszöntöm az LIX. Hidrobiológus Napok meghívott vendégeit és résztvevőit a Magyar Hidrológiai Társaság centenáriumi éve és az Magyar Tudományos Akadémia ÖK Balatoni Limnológiai Intézet alapításának, illetve megnyitásának (1927. szeptember 5.) 90. évfordulója alkalmából. Mindkét évforduló kiemelkedő jelentőségű a hazai hidrobiológia történetében. Mindkettőről szól „A hidrobiológus napok története és jelentőségük (1957-2016)” című kiadványunk.

Az 1957-ben elindított hidrobiológus fórum immár 59. rendezvényéhez érkezünk. A Hidrobiológus Napok jelentősége és hatása a hazai vízkémia és -biológiára immár megkérdőjelezhetetlen. Hálásak vagyunk az alapítóknak és mindazoknak, akik több, mint egy fél évszázadig fenn tartották, megszervezték, s részvételükkel gazdagították a hazai hidrobiológia jelentős eseményeit.

Ugyanakkor sajnálatos az utóbbi években a számszerűen csökkenő részvétel, pedig az általunk művelt tudomány-területek immár az emberiség létének, fennmaradásának, szükségletei kielégítésének ismeretanyagai lettek. A széleskörű politikai, szakmai érdeklődés a „víztudományok” felé fordult. Az elmúlt évtizedekben számos javaslatot, kutatási- és együttműködési tervet, beszámolót fogalmaztunk meg és terjesztettünk elő. Ezért is választottuk a mostani Hidrobiológus Napok témájának a hidrobiológia helyzetének elemzését a víztudományokban.

Immár sok év óta, az előző évi Hidrobiológus Napok előadásainak összegyűjtött anyaga az idén is a Hidrológiai Közöny különszámaként jelent meg (96. évf. Különszám 2016), melynek nyomdai előkészítő szerkesztéséért dr. Fehér János főszerkesztőt és dr. Ács Éva szakszerkesztőt illeti köszönet.

A kéziratokkal kapcsolatos új formai követelményekre ezúttal is felhívom szíves figyelmüket, melyek személyes anyagok bemutatásával is közelebb hozzák a szerzőket olvasóikhoz. Az idei szakmai napok előkészítéséért és szervezéséért is dr. Tóth Viktort, a Limnológiai szakosztály titkárát illeti köszönet.

Mindannyiuknak jó egészséget, boldogságot kívánok, akik ez évben töltik be születésük kerek évfordulóját, a Ferenceknek pedig sok sikert névnapjukon!

Ez évben folytatjuk a „legjobb előadó” és a „legjobb poszter” értékelését és díjazását, amely a fiatal kollégáknak szól. Örömmel üdvözlöm körünkben azokat a fiatalokat, akik először vesznek részt a Hidrobiológus Napokon, s arra biztatom őket, hogy legyenek regisztrált tagjai az MHT Limnológiai Szakosztályának, s használják ki a Hidrobiológus Napok nyújtotta lehetőségeket, s erre hívják fel kollégáik figyelmét is. Köszönetünket fejezzük ki Tósoki Imrének, Tihany polgármesterének és Lévai Ferenc elnök-vezérigazgató úrnak az Aranypony Zrt. tulajdonosának jelentős anyagi hozzájárulásához. Segítségüket nemes célra fordítjuk.

Az MHT Limnológiai Szakosztály vezetőség továbbra is szorgalmazza a Vitális Sándor Szakirodalmi Nívódíj és Lászlóffy Woldemár szakdolgozati pályázatokat: az egyéni pályázatokat és a Limnológiai Szakosztály javaslatát (egy-egy jelöltre). Képviselőnként a Bíráló Bizottságban továbbra is dr. Ács Éva látja el.

Felhívom szíves figyelmüket, hogy Borics Gábor kolléga nagydoktori értekezésének nyilvános vitája október 26-án lesz a Magyar Tudományos Akadémia felolvasótermében.

Az LIX. Hidrobiológus Napokat ezen gondolatok jegyében nyitom meg, s kívánok minden résztvevőnek eredményes részvételt, s kellemes tihanyi tartózkodást. Remélem, hogy jövőre a LX. Hidrobiológus Napokat is kellő érdeklődés és körülmények között ünnepelhetjük.



Halak élőhely preferencia vizsgálatának támogatása számítógépes hidromorfológiai modellezéssel

Baranya Sándor¹, Fleit Gábor¹, Józsa János^{1,2}, Szalóky Zoltán³, Tóth Balázs⁴ és Erős Tibor^{3,5}

¹ Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék, 1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3. (E-mail: baranya.sandor@epito.bme.hu)

² MTA TKI Vízgazdálkodási Kutatócsoport, 1051 Budapest Nádor u. 7.

³ MTA Ökológiai Kutatóközpont, Duna-kutató Intézet, 1113 Budapest, Karolina út 29.

⁴ Duna-Ipoly Nemzeti Park Igazgatóság, 1121 Budapest, Költő u. 21

⁵ MTA Ökológiai Kutatóközpont, Balatoni Limnológiai Intézet, 8237 Tihany, Klebelsberg Kuno u. 3.

Kivonat

Halak viselkedésében, élőhely-választási stratégiájában fontos szerepet játszanak alapvető hidromorfológiai tényezők, mint például a víz mélysége, az áramlás sebessége, a hordaléktartalom vagy a mederanyag összetétele. Korszerű vizsgálati módszerekkel a víztestek hidromorfológiai paraméterei nagy térbeli és időbeli részletességgel meghatározhatók, azonban kevés tanulmány foglalkozik a részletes felbontású hidromorfológiai adatok és a halak előfordulási mintázatának összekapcsolásával, az élőhely-használat modellezésével nagy folyókban. Jelen tanulmány célja, hogy a Duna alsógödi szakaszára rendelkezésre álló terepi mérések és háromdimenziós számítógépes szimulációk eredményezte hidromorfológiai adatok és halállomány-összetételre vonatkozó korábbi vizsgálatok összekapcsolásával élőhely mezőket mutasson be néhány, a Duna magyarországi szakaszára jellemző halfajra, rámutatva az egyes fajok által preferált élőhelyek kiterjedésének térbeli és vízjárástól függő változásaira.

Kulcsszavak

Duna, halak, élőhely-kategorizálás, számítógépes modell, hidromorfológia, mederanyag térképezés.

Investigation of the habitat preference of riverine fish by numerical hydromorphological modelling

Abstract

Hydromorphological parameters of rivers, such as flow depth, flow velocity, sediment transport and the composition of bed material all contribute to the behaviour and habitat preferences of fish. These parameters of water bodies can be determined with high spatial and temporal resolution using state-of-the-art investigation methods. However, only few studies deal with the connection of the detailed spatial parameter distributions and the habitat, i.e. the habitat modelling, in large rivers. The aim of this study is to fill this gap by introducing so-called habitat maps connecting the results of 3D hydrodynamic simulations and recent results from fish behaviour studies. The habitat modelling is introduced through a case study of the Danube River at Alsógöd focusing on two fish species, which are representative to this section of the river.

Keywords

Danube, fish, habitat categorization, numerical modelling, hydromorphology, bed material mapping.

BEVEZETÉS

Folyók, folyószakaszok, tavak áramlástani alapokon nyugvó, élőhely szempontú jellemzésével foglalkozik az élőhely- vagy más néven az öko-hidraulika tudományterülete. Az élőhely-hidraulika fő vizsgálati tárgyát az áramlási viszonyokat és a hordalék vízben való mozgását leíró fizikai paraméter-együttesek, mint abiotikus leírók és a környezetet leíró biotikus jellemzők összekapcsolása képezi. A témához kapcsolódó kutatások leghatékonyabban különböző tudományterületek összekapcsolásával valósulhatnak meg, melyek közül kulcsszerepet játszanak a folyómérnökök és a halbiológusok, előbbi, mint a folyami hidrodinamika, utóbbi, mint a halviselkedés szakértői. Az élőhely-hidraulikai kutatások egyik legfontosabb eredménye az lehet, ha igazolható, hogy valóban szoros kapcsolat áll fent a halak viselkedése, élőhely választási szokásai, és egyéb, ökológiai szempontból releváns tényezők, valamint a fizikai paraméterek között, mert utóbbiak számszerű jellemzése folyószakasz léptékben már rendkívül nagy részletgazdagsággal elvégezhető. Külföldi, a folyami halfaunával foglalkozó élenjáró kutatóintézetek már több tíz éve felismerték a témában rejlő gya-

korlati lehetőségeket, és célirányos vizsgálatokkal feltárták egyszerűbb áramlási paraméterek (elsősorban áramlási sebesség, vízmélység, mederanyag szemcseösszetétel) és a halak előfordulása közötti kapcsolatokat. Az első ún. élőhely megfelelőségi index modelleket (Habitat Suitability Index Model) az Egyesült Államokban dolgozták ki (*Schamberger és társai 1982*), hogy a folyók és a terület-használat megváltozásának a hatását tudják vizsgálni az élőlények élőhely igényeinek szempontjából. A gyakorlati felhasználásra szánt anyagban több száz faj előfordulásának a környezeti változókkal való kapcsolatát állították fel egyszerű grafikonok formájában. Nagy folyók esetére korai példaként említhető még pl. *Shields (1995)* tanulmánya, amely az egyesült államokbeli Mississippi folyóra mutatott be egy élőhely kategorizálási módszert. A folyószabályozási művekre összpontosítva, a műtárgyak környezete és azok geomorfológiai tulajdonságai alapján 16 élőhely-kategóriát különítettek el. *Aadland és Kuitunen (2006)* a szintén egyesült államokbeli Minnesota folyóira mutattak be nagyszámú összefüggést különböző halfajok előfordulásai, az áramlási sebesség, a vízmélység és a mederanyag szemcseösszetétele között.

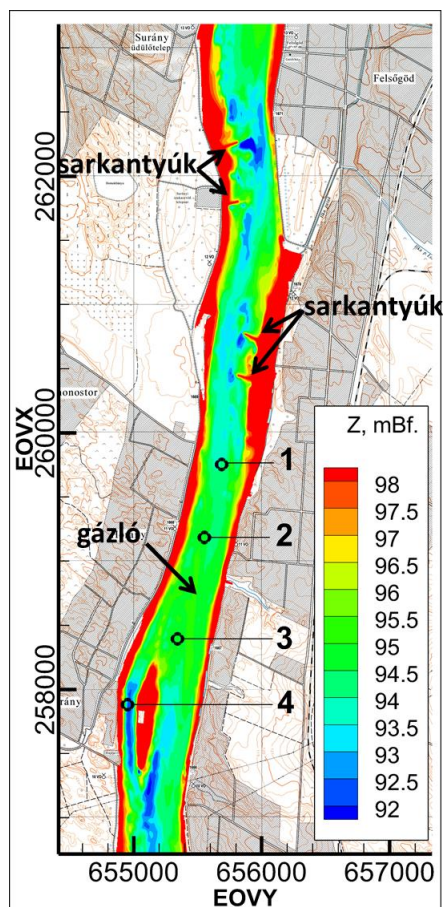
Hazai szinten is történtek már erőfeszítések arra, hogy különböző halfajok bizonyos környezeti állapotjellemzőkkel való összekapcsolását felállítsák. Például *Erős és társai (2008)* részletes mintavétellel tanulmányozták a halállomány összetételét és az egyes fajok élőhely használatát a Duna litorális (partközeli) zónájában, a Gönyű és Göd (1786-1665 fkm) közötti Duna-szakaszon. Vizsgálatukban három fő élőhely típust különítettek el: i) lassú folyású, vagy állóvíz, iszapos, homokos élőhely; ii) rendkívül sebes áramlású, 100%-ig kavicsborítású élőhely; iii) mesterséges élőhelyek, melyeket 100%-os kavicsborítás és változatos áramlási viszonyok jellemeznek.

A fenti szemelvények alapján jól látszik, hogy a kutatási terület néhány évtizedes múltra tekint vissza és találhatók már hazai eredmények is a Dunára. Ezekre a vizsgálati eredményekre építve jelen tanulmányban a vizsgálati módszerek továbbfejlesztését és annak egy hazai példán való mintaalkalmazását tűztük ki célul. A fejlesztés két pillérre épül. Egyfelől, a halmintázási eljárásoknál a korábbi, csak a parti zónára összpontosító módszert mélyvízi mintázással egészítjük ki, amelynek hazai és nemzetközi tesztelése a közelmúltban már sikeres eredményeket produkált (pl. *Szalóky és társai 2014, Erős és társai 2017*). Másfelől, a környezeti változók leírását jelen esetben egy részletes terepi adatgyűjtés alapján paraméterezett és igazolt számítógépes szimulációs eljárással végezzük el, a vízmélység, az áramlási sebesség és a mederanyag szemösszetételének területi eloszlásain keresztül. Korábbi, összekapcsolt halmintázási és áramlási

si mérések eredményeit felhasználva bemutatjuk két, a Dunára jellemző halfajra a megfeleléségi összefüggéseket és a számítógépes szimulációk alapján élőhely megfeleléségi térképeket állítunk elő. Fontos lépést jelent az eljárásban a mederanyag szemösszetételének területi meghatározása is, amire új, terepi mintavételen és számítógépes modellezésen alapuló módszert dolgozunk ki.

A VIZSGÁLATI HELYSZÍN

A vizsgálatot a Duna alsógödi szakaszán (1672-1665 fkm) hajtottuk végre (*1. ábra*). Fontos kiemelni, hogy a folyó ezen a szakaszon sarkantyúkkal szabályozott, a meder alakja, az áramlási viszonyok és a mederanyag szemösszetétele emiatt igen összetett. A magyarországi Duna egy élőhely-hidraulikai szempontból reprezentatív szakaszának mondható ez a terület, mert több halfaj számára kiemelt jelentőségű élőhelyként funkcionál, miközben emberi beavatkozásoknak kitett a szakaszon található hajózási akadályok miatt. Éppen a hajózási akadályok miatt további beavatkozások szükségesek a folyómederben, melyek még inkább indokolják az élőhely szempontú megalapozó vizsgálatokat. A mederanyag szemösszetétele nagyon változatos képet mutat, a tisztán iszapos mederrészek mellett, vegyes homokos-kavicsos és tisztán kavicsos zónák is jelen vannak (*2. ábra*). A Duna éves közepes vízhozama ezen a szakaszon 1.450 m³/s, maximális vízhozama (a 2013. évi árvíz során) 6.100 m³/s, hosszesése kb. 5 cm/km, vízmélysége középvíznél átlagosan 4 m, maximum 7-8 m, a folyó szélessége átlagosan 400 m.



1. ábra. A vizsgálati terület digitális medermodellje
Figure 1. Digital Elevation Model of the study reach



2. ábra. Kiszáritott mederanyag minták (1. ábrán jelölt helyekről)
Figure 2. Dried bed material samples (from the locations marked in Fig. 1)

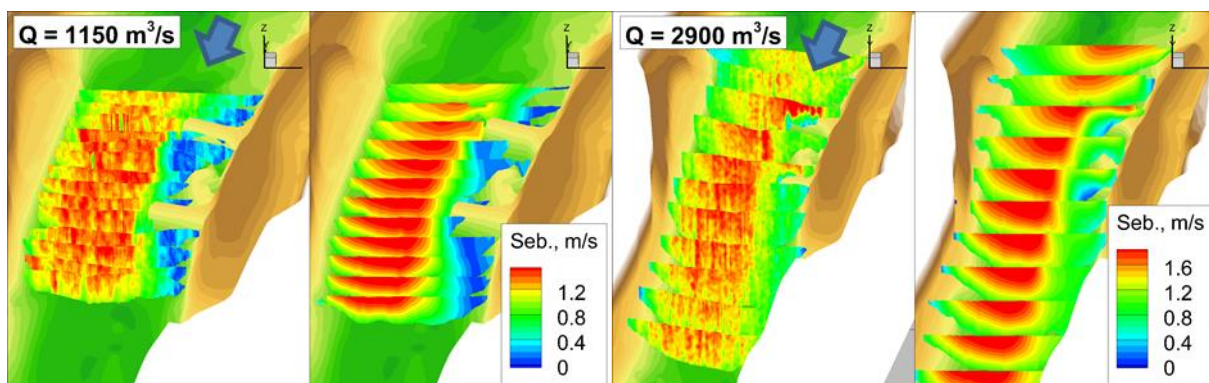
SZÁMÍTÓGÉPES SZIMULÁCIÓS VIZSGÁLATOK

A későbbiekben bemutatásra kerülő élőhely mezőket háromdimenziós számítógépes szimulációk segítségével állítottuk elő. A 3D számítógépes modellek egyik fontos jellemzője, hogy a hidrodinamikai paraméterek részletgazdag térbeli (tehát mind területi mind függőleges) eloszlásait kaphatjuk meg. Az áramlási sebesség és vízmélység értékek mellett ráadásul az áramlás turbulencia tartalmára is becslést tehetünk, amely például a hordalékszállító képesség szempontjából játszik meghatározó szerepet. A mérnöki gyakorlatban elterjedt 1D és 2D modellekhez képest a 3D modellek a mederfenék közeli áramlási jellemzőkről pontosabb képet adnak, amely – a jelen vizsgálat szempontjából is lényeges – mederanyag szemösszetételét döntően meghatározza. A modellek segítségével, amennyiben azok megfelelő paraméterezésre és igazolásra kerültek, olyan szituációkat is vizsgálhatunk, amelyekre nem állnak rendelkezésre terepi adatok. Ezek lehetnek olyan múltbeli állapotok (pl. az EU Víz Keretirányelve szerinti referenciaállapotok), amelyeket nem tártak fel áramlástanai szempontból vagy olyan jövőbeli állapotok, amelyek tervezett beavatkozások után alakulnak majd ki. Hasonlóképpen, modellezhetők olyan vízjárási állapotok, amelyek nehezen kimérhetők (pl. szélsőséges árvizek).

A vizsgálatunkhoz felhasznált számítógépes modellt (Olsen 2010) mind nemzetközi, mind hazai tanulmányokban széles körben tesztelték és alkalmazták már az elmúlt mintegy húsz évben. Ezek a vizsgálatok – a teljesség igénye nélkül – kiterjedtek műtárgy-hidraulikára (Olsen és Kjellesvig 1998), tározó üzemeltetésre (Haun és Olsen 2012), kisminta-léptékű komplex áramlásokra (Baranya és társai 2012), folyami áramlásokra (Baranya és Józsa 2006), folyami elkeveredésre (Baranya és társai 2015) és folyami hordalékvándorlásra (Baranya 2010) is. A modell egy vízszintes értelemben görbevonallú, strukturált rácshálón oldja meg az ún. Reynolds-átlagolt Navier-Stokes egyenleteket. Függőleges értelemben a számítási tartományt a vízmélységtől függő számú rétegre osztjuk fel. A modell az ún. k- ϵ típusú turbulencia-modellt hasz-

nálja a turbulens hatások becslésére. Eredményként az áramlási sebességvektorok három, egymásra merőleges komponensének, a hidrodinamikai nyomásnak, a turbulens mozgási energiának és annak disszipációs rátájának a térbeli eloszlásait kapjuk minden egyes számítási rácspontra. A modellel ezen túlmenően lehetőség van a folyók alakváltozását számító morfodinamikai szimulációkra, melyhez a numerikus eszköz hordaléktranszport modulját szükséges alkalmazni. Ez esetben szükséges ismerni a vizsgált területen jellemző hordalék fizikai és mennyiségi jellemzőit. Jelen vizsgálatok az áramlások és a mederanyag szemösszetételének területi elemzését célozzák meg.

A számítógépes modell igazolását két eltérő vízjárási állapotra igazoltuk, egy kis-középvízi ($Q = 1.150 \text{ m}^3/\text{s}$) és egy nagyvízi ($Q = 2.900 \text{ m}^3/\text{s}$) helyzetre (megj.: a Duna váci ágában a teljes vízhozam kb. kétharmad része folyik le). Ezekre az állapotokra rendelkezésre álltak a helyszínen, az ún. akusztikus Doppler-elvű áramlásmérő műszerrel (ADCP) kimért keresztaszvénymenti sebességeloszlások. A két vízjárási állapotra az alábbi ábrapárosok (3. ábra) mutatják be a terepen mért és a számítógépes modell által szimulált szelvénymenti sebességeloszlásokat. A mért sebességek a turbulens hatások eredményeképpen megjelenő sebesség-pulzációt is tartalmazták, ennek köszönhetően bizonyos mértékű szórást jelentkezik az adatokban. A számítógépes modell ezzel szemben sokkal simább átmeneteket mutat, ami a megoldás időben átlagolt jellegéből fakad. Az eloszlások mindazonáltal jól mutatják a térben összetett áramlási viszonyokat, a bal parti sarkantyúpár áramlást szűkítő hatását, a mederfenék közeli alacsonyabb sebességű zónákat és a sekély területeken, akár a sarkantyúk közötti térségben jellemző lassabb áramlásokat is. A modell összességében megfelelően reprodukálja a terepen mért viszonyokat, így lehetőséget ad arra, hogy más, nem mért állapotokra is szimulációkat végezzünk vele és előállítsuk a vízmélységek és áramlási sebességek mezőit, mint az élőhely-mezőket két fontos bemeneti adatát.



3. ábra. Mért (bal) és szimulált keresztaszvénymenti sebességeloszlások két vízjárási állapotra (perspektívus nézet)
Figure 3. Measured (left) vs. simulated cross-sectional flow velocity distributions for two flow regimes (perspective view)

A számítógépes modell mederalaktani vizsgálat szempontjából egyik legfontosabb eredménye a mederfenéknél fellépő súrlódási erő lokális értékeinek, a fenécsúsztatófeszültségnek a területi eloszlása (4. ábra). Ez a paraméter a helyi hordalék-elragadó erőt fejezi ki, azt az

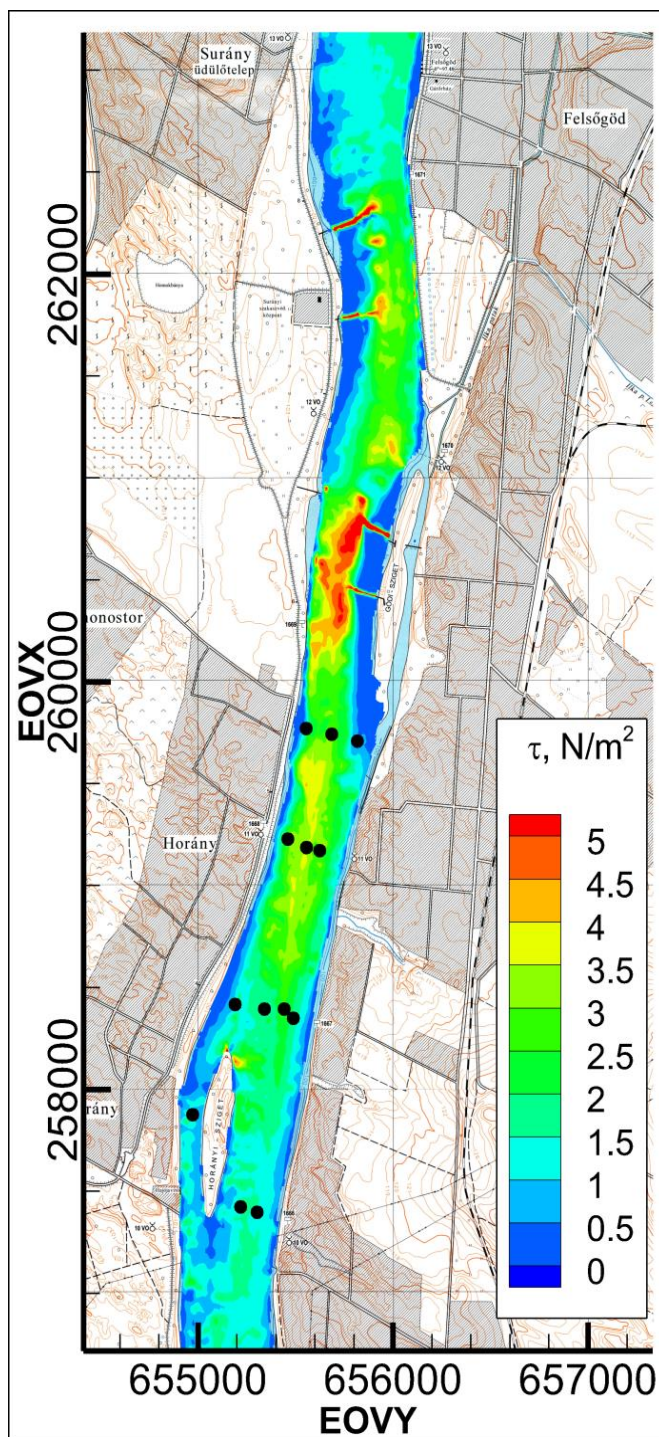
erőt, ami kimozdítja a medret alkotó hordalékszemcséket stabil, egyensúlyi állapotukból. A fenék-cúsztatófeszültség ezért szükségszerűen egy kapcsolatot fejez ki az áramlás és meder szemösszetétele között. Mivel az élőhely mezőket előállítása során a vízmélységek és áramlási

sebességek mellett a mederanyagról is területi információval kell, hogy rendelkezünk, a terepi adatgyűjtés pedig csak pontbeli minták megvételére ad lehetőséget, a numerikus modell által számított csúsztatófeszültség eloszlásmezőt vettük alapul a mederanyag térképe előállítására. Ehhez a következő lépéseket hajtottuk végre (5. ábra):

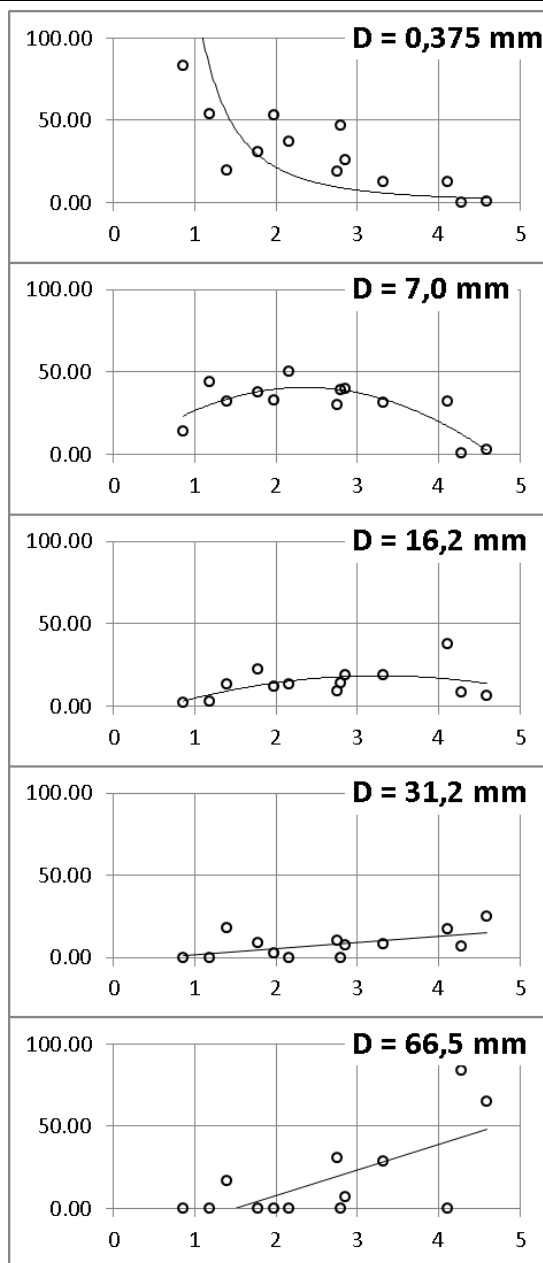
1. Mederanyag mintákat vettünk a vizsgált szakasz 13 előre kijelölt pontjában és előállítottuk a mintavételi helyekre jellemző szemösszetételi görbéket.
2. Szimulációt végeztünk egy mértékadó nagyvízi állapotról (ami a mederanyag szemösszetételét is vélhető-

en meghatározza) és a mederanyag mintavételi helyeken lekérdeztük a fenék-csúsztatófeszültség lokális értékeit.

3. Minden egyes mintavételi pontra kapcsolatot állítottunk fel öt különböző szemcseméret frakció (0,375 mm, 7 mm, 16,2 mm, 31,2 mm, 66,5 mm) térfogataránya és a helyi csúsztatófeszültség érték között.
4. A felállított kapcsolatokat felhasználva a modell által számított fenék-csúsztatófeszültség mezőből mederanyag összetétel mezőt állítottunk elő, és ez szolgált bemeneti adatként az élőhely kategorizáláshoz.



4. ábra. Árvízi állapotra számított fenék-csúsztatófeszültség mező
Figure 4. Simulated bed shear stress field at flood



5. ábra. A mederanyagmintákban található szemcsefrakciók aránya (függőleges tengely) és a vizsgálati pontban jellemző fenék-csúsztatófeszültség értékek (vízszintes tengely N/m^2 -ben) kapcsolata
 Figure 5. Relationship between grain size fractions (vertical axis) and simulated bed shear stress values (horizontal axis in N/m^2) at the bed material sampling points

Az egyes szemcseméretekek mederanyag mintákban való előfordulása és az adott pontra kapott fenék-csúsztatófeszültség értékek között minden esetben felállítható volt reprezentatív függvénykapcsolat. A vártnak megfelelő módon megfigyelhető, hogy a legfinomabb szemcsék (0,375 mm szemátmérő) aránya csökken, ahogy növekszik a sűrűdés és csak a lassú áramlású zónákban képes stabilan megmaradni. A következő két szemcseméret osztály esetén látható, hogy alacsony és magas csúsztatófeszültség értékeknél nem található a mederben, csak az 1-4 N/m^2 közötti tartományban. Ennek oka, hogy az alacsony csúsztatófeszültség értékeknél a finom szemcsék gyűlnek fel és dominálnak a mintában, míg magas csúsztatófeszültség mellett az áramlás elragadja őket. A legnagyobb méretű szemcsék pedig magas arányban csak a magas csúsztatófeszültséggel jellemzhető, elsősorban a

sodorvonal térségében jelenik meg. Az egyes szemcseméret frakciókra felállított összefüggések és a szimulált fenék-csúsztatófeszültség mező alapján elő tudtuk állítani a mederanyag szemösszetételi adatainak területi eloszlásait, hogy a későbbiekben az élőhely kategorizálásban felhasználhassuk.

TEREPI ÉLŐHELY-PREFERENCIA VIZSGÁLATOK

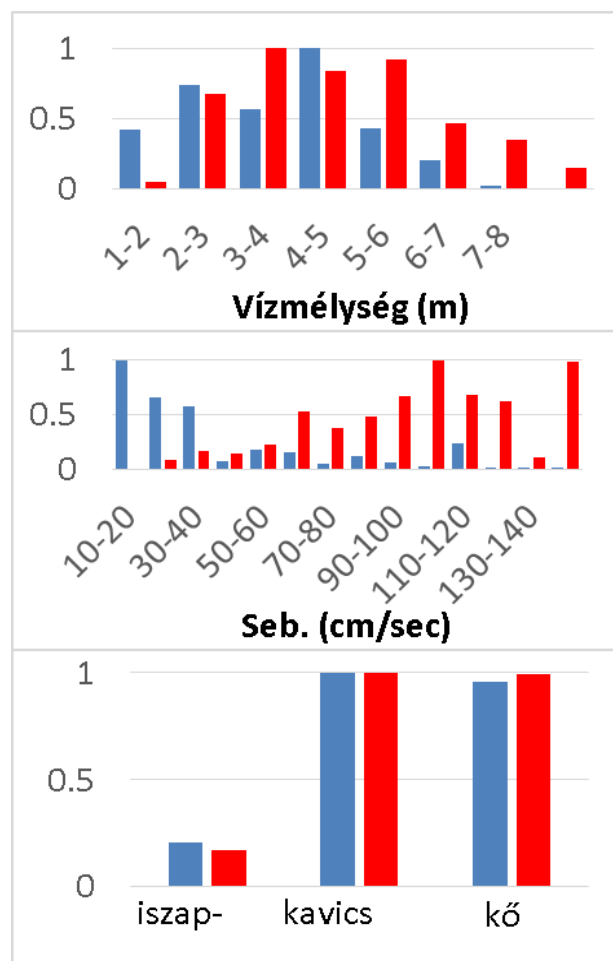
A terepi élőhely vizsgálatok nemcsak a vizsgált területre vonatkoztak, hanem a Duna teljes magyarországi szakaszának a litorális és mélyvízi zónáiban végrehajtott hal-ökológiai adatgyűjtés eredményeit vesszük alapul. A litorális zónákban 207 db, egyenként 500 méteres mintavételi egységben 47 faj közel 48000 példányát, míg a mélyvízi területen 175 db 500 méteres mintavételi egységben 36 faj közel 8.000 példányát gyűjtöttük. A terepi

adatgyűjtés során rögzítésre került az egyes mintavételi helyeken jellemző áramlási sebesség, vízmélység és mederanyag összetétel is, lehetőséget adva az élőhely-preferencia modell felállításához szükséges bemeneti adatok értékelésére. Jelen vizsgálatban a kidolgozott módszertan bemutatására két halfajt választottunk ki: egyfelől a hazai vizekben invazív fajnak tekinthető feketeszájú gébet (*Neogobius melanostomus*) és a nagy természetű értéket képviselő német bucót (*Zingel streber*). A korábbiakban már ismertetett módon, az egyes halfajok előfordulásait a lehalászás helyén jellemző vízmélység, átlagos áramlási sebesség és mederanyag szemösszetétel fizikai leírókkal kapcsoltuk össze, és az előfordulási valószínűségeket alapján elkészítettük a három paramétertől függő élőhely-megfelelőségi indexeket (SI). Az alábbi három grafikon (6. ábra) a két kiválasztott halfajra mutatja be az SI értékeket, a paraméterek egyes tartományaira. Megfigyelhető, hogy mindkét halfaj esetében a 2-6 méter közötti vízmélység tartomány preferált, vagyis a sekély zónákat kerülik. Az áramlási sebesség tekintetében jelentős eltérés mutatkozik meg a két halfaj között, mert míg a géb a lassú áramlású ($< 0,5$ m/s) zónákat, a bucó a sodorvonal környezetére jellemző $0,8$ m/s feletti sebességeket kedveli. A mederanyag szemösszetétele alapján három kategóriát definiáltunk: iszap-homok ($d_{50} < 2$ mm), kavics ($2 \text{ mm} < d_{50} < 64$ mm) és kő ($d_{50} > 64$ mm), ahol d_{50} a mederanyag mintában talált szemcsék átlagos szemátmérője. Az itt felállított SI összefüggések már alkalmazhatók arra, hogy a számítógépes szimulációk által szolgáltatott területi paraméter-eloszlások alapján az SI értékek mezőjét is előállíthassuk. Vizsgálatot végeztünk annak vonatkozásában, hogy külön-külön az egyes hidromorfológiai paraméterek és a halelőfordulás kapcsolata mennyire erős, vagyis kimutatható-e, hogy a három paraméterből valamelyik nagyobb szerepet játszik, mint a másik kettő? A két kiválasztott halfaj esetében nem lehetett igazolni, hogy bármelyik paraméter kiemelt szerepet játszik, ezért a következő pontban bemutatásra kerülő megfelelelőségi térképek előállításánál a három paramétert egyforma súllyal vettük figyelembe.

ÉLŐHELY MEZŐK

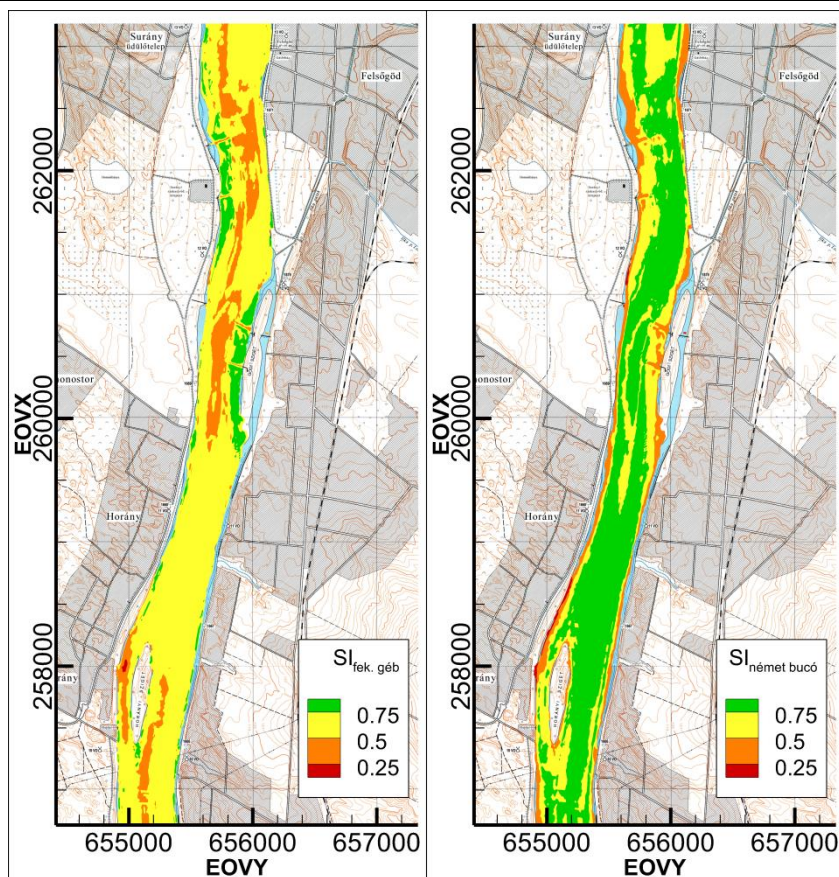
A két kiválasztott halfajra vonatkozó élőhely mezőket a számítógépes szimulációk eredményeként kapott hidromorfológiai paraméterek mezőszerű eloszlásai alapján készítettük el két vízjárási állapotra ($Q_1 = 1.450 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_2 = 6.100 \text{ m}^3/\text{s}$). Előbbi a Duna vizsgált szakaszára jellemző tipikus középvízi vízhozamot, utóbbi a 2013. évi rekordárvíz tetőző értékét reprezentálja. A számítási rácsháló minden számítási pontjára rendelkezésre álló vízmélység (H), mélységátlagolt áramlási sebesség (V) és mederanyag szemösszetétel információ (GSD , Grain Size Distribution) alapján minden pontra előállítottunk három SI értéket, a három paraméterhez kapcsolódóan: SI_H , SI_V , SI_{GSD} . Végül, a három érték alapján, azok számtani közepével megad-

va előállítottuk minden rácspontra az ott jellemző megfelelelőségi-indexet, vagyis $SI = (SI_H + SI_V + SI_{GSD}) / 3$. Az így kapott SI területi eloszlásokat mutatják be a 7-8. ábrák a két vízjárási állapotra a két halfaj esetén, ahol az alacsony, nullához közeli értékek jelzik az adott halfaj számára nem kedvező, a magas, egyhez közeli értékek a kedvező zónákat. Középvízi állapotban a feketeszájú géb esetén a sarkantyúpárok környezetében találunk magas SI értékeket, míg a folyó döntő részén $0,4$ - $0,7$ közötti értékek jelennek meg. A német bucó ezzel szemben az erősebb sodrású zónákban mutat magas SI értékeket, a lassú áramlású területek és a mellékágak pedig alacsonyabb SI értékekkel jellemezhető. Árvízi állapotban a feketeszájú géb számára nincs kiemelkedően kedvelt terület, ami a teljes területet jellemző magasabb áramlási sebességekkel magyarázható. A német bucó számára viszont megfelelő menedéket jelenthetnek a sarkantyúk közötti parti zónák vagy éppen a sziget területe.

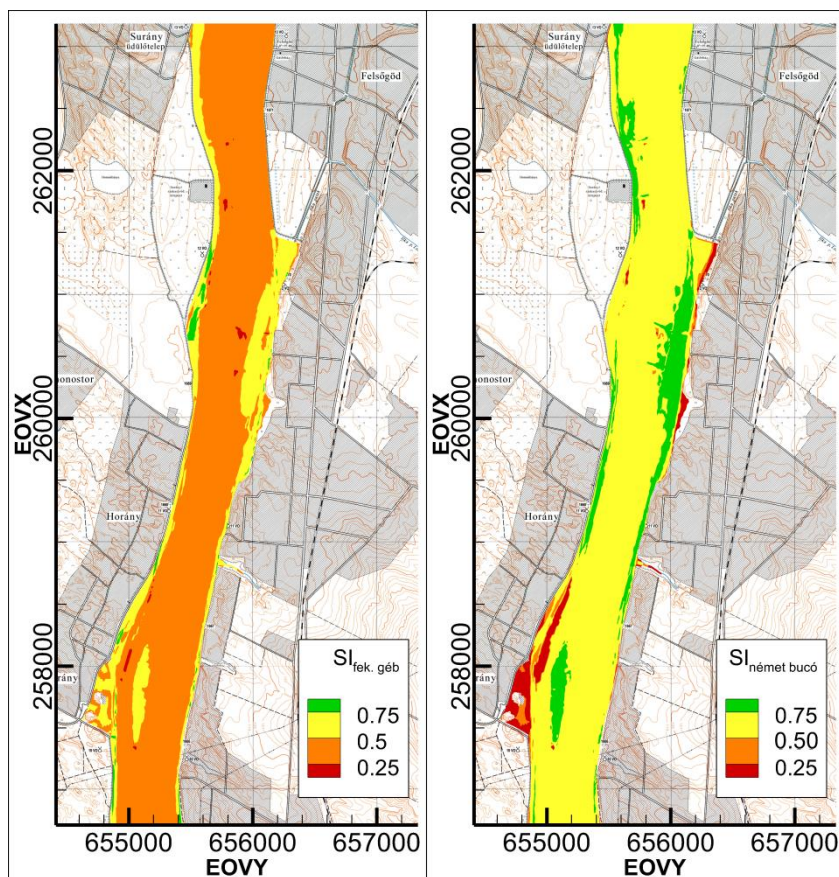


6. ábra. A feketeszájú géb (kék) és a német bucó (piros) halfajokra felállított vízmélység, áramlási sebesség és mederanyag összetétel alapú SI függvények

Figure 6. Flow depth, flow velocity and bed material composition based SI functions for *Neogobius melanostomus* (blue) and *Zingel streber* (red)



7. ábra. Élőhely megfelelési mezők középvízi állapot ($Q = 1450 \text{ m}^3/\text{s}$) esetén a feketeszájú gób (bal) és német bucó fajokra
 Figure 7. Habitat suitability fields at mean water for the *Neogobius melanostomus* (left) and *Zingel streber*



8. ábra. Élőhely megfelelési mezők árvízi állapot ($Q = 6100 \text{ m}^3/\text{s}$) esetén a feketeszájú gób (bal) és német bucó fajokra
 Figure 8. Habitat suitability fields during flood for the *Neogobius melanostomus* (left) and *Zingel streber*

ÖSSZEFOGLALÁS ÉS KÖVETKEZTETÉSEK

A tanulmányban korszerű vizsgálati módszerekkel tettünk kísérletet arra, hogy két, a hazai vizekben jellemző halfaj, a feketeszájú géb (*Neogobius melanostomus*) és a német bucó (*Zingel streber*) példáján keresztül terepi adatgyűjtés és számítógépes áramlástani szimulációk alapján élőhely megfeleléségi mezőket állítsunk elő a Duna Alsógöd környéki szakaszára. A bemutatott kutatás több újdonságot tartalmaz korábbi, az élőhely-hidraulika területén végzett vizsgálatokhoz képest. Egyrészt, újszerű terepi adatgyűjtési módszerrel vizsgáltuk a különböző halfajok előfordulását, nevezetesen a hagyományos litorális zónákra kiterjedő halmintázás mellett, a mélyvízi területekre is kiterjedtek a mintavételek. A nagyszámú terepen gyűjtött hálélfordulás adatok alapján kapcsolatokot állítottunk fel az egyes halfajok megjelenése és hidromorfológiai paraméterek (vízmélység, mélységátlagolt áramlási sebesség, mederanyag szemösszetétel) között. Másrészt, részletes terepi áramlásmérési adatokkal paraméterezett és igazolt számítógépes szimulációs vizsgálatokat végeztünk, amelyek segítségével a hidromorfológiai paraméterek térbeli eloszlásai bármilyen vízjárási állapotra előállíthatók. A számítógépes modell segítségével ráadásul sikerült egy, a terepi mederanyag mintázás alapján paraméterezett mederanyag szemösszetétel mezőt is előállítani a minták szemösszetételi információinak és a modell által számított fenécsúsztatófeszültség mezőinek az összekapcsolásával. A szimulációs vizsgálatok végeredményeként két eltérő vízjárási állapotra elkészítettük a két vizsgált halfaj megfeleléségi indexének területi eloszlásait.

A bemutatott eredményekkel arra kívántuk felhívni a figyelmet, hogy két, hazai szinten erős alapokon nyugvó tudományterület, a folyami hidromorfológia és a halbiológia összekapcsolásával új tudományos témák jelenhetnek meg, amelyek szinte közvetlen gyakorlati hasznossal kecsegtetnek. Mivel az első ilyen kísérletről van szó, az együttműködés folytatása szükségszerű, amely további közös megalapozó – akár laboratóriumi, akár terepi környezetben végrehajtott – vizsgálatokat jelenthet. A teljes igénye nélkül, az alábbi javaslatokat fogalmazzuk meg a közös kutatások témáira:

- Halviselkedés vizsgálatok laboratóriumi környezetben, ahol a vizsgálatok elsősorban halak úszási sebességére és mederanyag összetétel preferenciára terjedhetnek ki.
- Közös terepi mérés-módszertani fejlesztés mind a halmintázásra, mind a hidromorfológiai adatgyűjtésre kiterjedően.
- Az élőhely jellemzés során alkalmazott leíró paraméterkészlet kiterjesztése további indikátorokkal, pl. vízhőmérséklet, oxigéntartalom, pH, fény, hordaléktartalom, zavarosság.
- A numerikus modellezési módszertan kiterjesztése a hordalék- és szennyezőanyag transzport szimulációjára is.
- A szimulációs vizsgálatok kiragadott vízjárási állapotra való végrehajtása helyett tartóssági gyakorisági célú adatelemzés a teljes vízjárás tartomány figyelembevételével.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A fenti eredményeket a TÁMOP-4.2.2.B-10/1--2010-0009 projekt támogatta. A cikk az Emberi Erőforrások Minisztériuma ÚNKP-17-3-I és ÚNKP-17-4-III kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának támogatásával készült. Vizsgálatainkhoz segítséget nyújtott az MTA Támogatott Kutatócsoportok Irodája is.

IRODALOMJEGYZÉK

Aadland, L. P., Kuitunen, A. (2006). Habitat suitability criteria for stream fishes and mussels of Minnesota. *Minnesota Department of Natural Resources, Division of Fish and Wildlife, Fisheries Management Section and Division of Ecological Services.*

Baranya S. és Józsa J. (2006). Flow analysis in river Danube by field measurement and 3D CFD turbulence modelling. *Periodica Polytechnica-Civil Engineering* 50:(1) pp. 57-68. (2006).

Baranya S. (2010) Three-dimensional analysis of river hydrodynamics and morphology. Doktori értekezés, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Budapest.

Baranya S., Olsen N.R.B., Stoesser T., Sturm T. (2012). Three-dimensional RANS modeling of flow around circular piers using nested grids. *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics* 6:(4) pp. 648-662.

Baranya S., Olsen, N. R. B., Józsa J. (2015). Flow analysis of a river confluence with field measurements and RANS model with nested grid approach. *River Research and Applications* 31:(1) pp. 28-41.

Erős, T., Balázs, T., Sevcsik, A. (2008) A halállomány összetétele és a halfajok élőhely használata a Duna litorális zónájában (1786-1665 fkm) – monitorozás és természetvédelmi javaslatok, *Halászat*, 2008, 101:(3), pp. 114-123.

Erős, T., Bammer, V., György, Á.I., Pehlivanov, L., Schabuss, M., Zornig, H., Weiperth, A., Szalóky, Z. (2017). Typology of a great river using fish assemblages: implications for the bioassessment of the Danube River. *River Research and Applications* 33:(1) pp. 37-49.

Haun, S. and Olsen, N. R. B. (2012). Three-dimensional numerical modelling of the flushing process of the Kali Gandaki hydropower reservoir. *Lakes & Reservoirs: Research & Management*, 17: 25–33. doi:10.1111/j.1440-1770.2012.00491.x

ICPDR (2015), Joint Danube Survey 3, What The River Told Us (*JDS3 Summary for Public*).

Olsen, N. R. B. and Kjellesvig, H. M. (1998). Three-dimensional numerical flow modelling for estimation of spillway capacity. *IAHR Journal of Hydraulic Research*. 36 (5) PP. 775-784.

Olsen, N. R. B. (2010). A Three-dimensional numerical model for Simulation of Sediment movements In water Intakes with Multiblock option - User's Manual. NTNU. Trondheim. Norvégia.

Schamberger, M., Farmer A. H., és J. W. Terrell. (1982). Habitat suitability index models: introduction.

U.S.D.I. Fish and Wildlife Service. FWS/OBS-82/10. 2 pp.

Shields, F. D. (1995) Fate of Lower Mississippi River habitats associated with river training dikes. Aquatic Conservation - Marine and freshwater Ecosystems, 1995, 5:(2), pp. 97-108.

Szalóky, Z., György Á. I. Tóth, B., Sevcsik, A., Csányi, B., Specziár, A., Erős, T. (2014). Application of an electrified benthic framed net (EBFN) for sampling fish in a very large European river (the River Danube) – Is off-shore monitoring necessary? Fisheries Research 151: pp. 12-19.

A SZERZŐK



BARANYA SÁNDOR Építőmérnöki oklevelét a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen szerezte 2003-ban, PhD fokozatát ugyanitt 2010-ben. Jelenleg a BME Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszékének egyetemi docense. A BME mellett vendégkutatóként egy-egy évet töltött a norvégiai NTNU egyetemen (2011) és az egyesült államokbeli University of Iowa-n (2014). Kutatási területe folyók medermorfológiai, áramlástan és hordalékvándorlási vizsgálata terepi eljárásokkal és számítógépes modellezéssel. Elnyerte a Magyar Állami Eötvös Ösztöndíjat, Korányi Ösztöndíjat, Bolyai János kutatási ösztöndíjat, a BME-n Rektori dicséretben, „TDK Munkáért” oktatói emléklapokért és Pro Progressio Oktatói TDK díjban részesült. A Magyar Hidrológiai Társaságnak 2003 óta tagja, 2015-ben Vitális Sándor szakirodalmi nívódíjban részesült.

FLEIT GÁBOR Okleveles építőmérnök, doktorandusz a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszékén. Doktori kutatásának témája a folyami élőhely-hidraulikai mérési és modellezési módszertanok fejlesztése.

JÓZSA JÁNOS Okleveles építőmérnök, professzor, az MTA levelező tagja, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem rektora. Kutatási területe a sekély felszíni vizek hidrodinamikája: határfelületi folyamatok, szél keltette tavi víz- és üledékmozgás mérése és numerikus modellezése, hullámteret vízfolyások áramlási, elkeveredési és hordalékvándorlási folyamatainak mérése és modellezése, ártéri elöntések modellezése. Az MHT tagja, a Hidrológiai Közöny szerkesztőbizottságának tagja.

SZALÓKY ZOLTÁN tudományos segédmunkatárs az MTA Ökológiai Kutatóközpontjának Duna-kutató intézetében. Kutatási területe álló- és folyóvizek hidro- és halbiológiai vizsgálatai, különös tekintettel nagy folyók halközösségeire.

TÓTH BALÁZS hidroökológiai referens a Duna-Ipoly Nemzeti Park Igazgatóságnál. Kutatási területe halközösségek élőhely vizsgálata.

ERŐS TIBOR tudományos főmunkatárs, osztályvezető az MTA Ökológiai Kutatóközpont Balatoni Limnológiai Intézetének Hidroökológiai osztályán. Kutatási területe: halegyüttesek szerveződése édesvizekben, biológiai sokféleség és a környezeti tényezők kapcsolata édesvizekben, mintavétel reprezentativitása, monitorozó rendszerek fejlesztése, természetvédelmi területek kijelölése édesvizek természeti értékei alapján.

Galandféreg (*Ligula sp.*) fertőzés hatása a balatoni folyami gébek (*Neogobius fluviatilis*) kondíciófaktorára és ivarszerv tömegére

Boross Nóra¹, Czeglédi István¹, Preiszner Bálint¹, Burányi Máté², Boros Gergely¹, Erős Tibor¹, Kern Bernadett¹, Specziár András¹, Takács Péter¹, Vitál Zoltán¹

¹MTA Ökológiai Kutatóközpont, Balatoni Limnológiai Intézet, 3237 Tihany, Klebelsberg Kuno u. 3.

²Pannon Egyetem Környezettudományi Intézet, Limnológia Tanszék, 8200, Veszprém, Egyetem u. 10.

Kivonat

A Balatonba mintegy 50 éve betelepült folyami géb állományára napjainkban nagyfokú galandféreg (*Ligula sp.*) fertőzöttség jellemző. A galandféreg elsőrendű lárvája az evezőlábú rákok közvetítésével jut a halak bélcsatornájába, majd azok hasüregében II. stádiumú lárvává fejlődik. A parazita végül a fertőzött halakat elfogyasztó vízimadarak bélcsatornájában éri el végső fejlődési stádiumát. A balatoni folyami géb állomány felmérése céljából 2017 tavaszán és nyarán a tó négy medencéjének északi és déli partjáról, négy különböző élőhely típusból (kikötő, kövezés, nádas, nyílt víz) gyűjtöttünk összesen 383 folyami géb egyedet. A tó déli partjáról gyűjtött folyami gébek 15,2%-ában, míg az északi part mentén gyűjtött példányok 32,8%-ában volt jelen a parazita. A folyami gébek Fulton-féle kondíciófaktorát a galandféreg eltávolítása után kapott testtömeg alapján számoltuk. Megállapítottuk, hogy a parazita negatívan hatott az egyedek kondíciófaktor értékére, valamint ivarszervük tömegére.

Kulcsszavak

Galandféreg, parazitafertőzés, idegenhonos hal, kondíciófaktor, Balaton

The effect of tapeworm (*Ligula sp.*) infection on the condition factor and gonad weight of monkey goby (*Neogobius fluviatilis*) in Lake Balaton

Abstract

Monkey goby first appeared in Lake Balaton about 50 years ago. Since then, the stock of monkey goby has been expanding in the lake and a high rate of tapeworm infection is typical for the population. Fish get infected by the larvae of *Ligula sp.* by consuming the host copepods. The parasite can reach its final stage of development in the intestines of birds that consume infected fishes. To learn more about the infection rate of the present monkey goby population in Lake Balaton, we collected altogether 383 individuals at spring and summer of 2017 from different habitat types (harbor, riprap, reed-bed both from the northern and southern shores and the pelagic region) in each of the four basins of the lake. A remarkable difference was found between sampling sites in the infection rate of the monkey goby: 15.2% of the gobies collected from the northern shore were infected by tapeworm, while at the southern shore the proportion of infected gobies reached 32.8%. Fulton's condition factor was calculated for each infected individual after removing the parasite from the abdominal cavities. We found that tapeworm infection reduced both the condition factor and gonadal development of the host fish.

Keywords

Tapeworm, parasite infection, non-native fish, condition factor, Lake Balaton

BEVEZETÉS

A ponto-kaszpikus eredetű (a Fekete-, Azovi-, és Kaszpi-tenger vidékén őshonos) gébfélék intenzív térhódítása figyelhető meg az utóbbi évtizedekben Európa kontinentális vizeiben (*Copp és társai 2005*). Az ebbe a csoportba tartozó folyami géb (*Neogobius fluviatilis*) alapvetően két útvonalon terjeszkedik Európában, a Duna és Rajna vonalán, illetve a Dnyeper és Visztula folyó mentén (*Grabowska és társai 2009*). Utóbbi vonalon terjedve a folyami gébet Lengyelországban 1997-ben írták le először (*Danilkiewicz 1998*). A Nyugati-Bug mellékfolyóban és a Visztula déli szakaszán 2007-ben már stabil populációt alkotott a faj (*Grabowska és társai 2009*). A Duna mentén terjedve Magyarországon is megjelent a folyami géb, először 1970-ben írták le a Balatonban (Bíró 1972), mely akkor a faj legnyugatibb előfordulási helyének számított Európában. Ezt követően a Duna magyarországi szakaszáról 1984-ben számoltak be az első fogott példányáról, majd 1993-ban a Tisza-tóból is előkerült (Harka 1993). Napjainkban a teljes magyarországi Duna szakaszon elterjedt a folyami géb (*Erős és társai 2005*), Duna-menti előfordulásának

határa az osztrák szakaszra tehető (*Szalóky és társai 2015*).

A Balatonba a Sió csatornán keresztül juthattak az első példányok, ahol megjelenésük után 25 évvel jelentős állományuk alakult ki (Bíró 1995). A gébek gyors terjedését több tényező is elősegítheti: a globális klímaváltozás hatásai és a víztesteket összekötő csatornahálózatok gyorsítják az új területek kolonizációját (*Harka és Bíró 2007*), a gébek generalista táplálkozási stratégiája pedig előnyt jelent a megváltozott körülmények között (Bíró 1995, *Grabowska 2005*, *Grabowska és társai 2009*, *Kakareko és társai 2005*). Emellett hatékony szaporodási stratégiájuk, szülői utódgondozással (*Grabowska 2005*), és az egy szezon alatti többszöri ivásra való képességgel (*Gretzen és társai 2016*), biztosítja az újabb területeken való hatékony elszaporodásukat.

A sikeres térhódítás egyik faktora, hogy az idegenhonos fajok állományát általában alacsonyabb parazitanyomás terheli, mint az őshonos fajokét (*Ondrackova és társai 2005*, *Plachá és társai 2010*). Ezzel szemben a

balatoni folyami gébek mai állományára nagyfokú galandféreggel (*Ligula sp.*) való fertőzöttség jellemző. Molnár és Székely (2010) arról számoltak be, hogy a 2006 és 2009 között fogott folyami gébeknek 53%-a fertőzöttnek bizonyult a Balatonban. A folyami géb parazitájának faji besorolása még nem történt meg, de Molnár és Székely (2010) alapján, illetve Molnár Kálmán szóbeli közlése alapján, a kérdéses faj vélhetőleg a *Ligula pavlovskii*, mely irodalmi adatok alapján gébféléket parazitál (Dubinina 1959, Yuryshynets és társai 2017). A fertőzésnek való kitettség a parazita életciklusából következik.

A *Ligula* galandféreg fajok három lárvastádiumon átívelő életciklusuk során végül a vízi madarak bélcsatornájában érik el kifejllett alakjukat. A halakba a fertőzött evezőlábú rákok elfogyasztásával jutnak, a halak hasüregébe kerülve a galandféreg plerocercoid lárvái akár évekig is fejlődhetnek (Molnár 2003). A Balatonban fogott folyami gébek táplálékában a halak méretétől függetlenül előkerültek az evezőlábú rákok (Bíró 1995), tehát a fertőzésnek valamennyi korcsoport ki van téve. A fertőzött halakat a vízi madarak fogyasztják, melyek bélcsatornájában a féreg végül csak néhány napot tölt, petét rak és kiürül a szervezetből (Molnár 2003). A galandféreg lárvája a halak beleit összenyomva helyezkedik el a hasüregben, mely jelentős hátránnyal jár a fertőzött egyedekre nézve: lesóványodnak és úszásukat gátolt (Molnár 2003). Garádi és Bíró (1975) vizsgálata alapján a szíjgalandféreggel (*L. intestinalis*) fertőzött dévérkeszegek növekedési üteme elmaradt a nem fertőzött egyedekéhez képest, Claridge és társai (1985) szerint a gébek szíjgalandféreggel való fertőzöttsége az állomány magasabb mortalitási rátájához vezethet. A *ligula* fertőzés a Balatonban elterjedt jelenség (Molnár és Székely 2010), mely különböző őshonos halfajainknál is megfigyelhető. Ezért is tartjuk fontosnak a parazita gyakoriságának és gazdaszervezetre kifejtett hatásának vizsgálatát, a balatoni folyami gébek állományának vizsgálatán keresztül.

Jelen vizsgálat során célkitűzéseink voltak: 1) a balatoni folyami gébek *Ligula sp.* galandféreggel való fertőzöttségének gyakoriságát és eloszlását feltérképezni, a Balaton négy medencéjében és különböző élőhely típusokban, 2) valamint megvizsgálni, hogy a parazita féreg hogyan hat az egyedek két fontos életmenet komponensére: kondíciójára és ivarszerveik tömegére.

ANYAG ÉS MÓDSZER

A Balaton négy medencéjében (Keszthelyi, Szigligeti, Szemesi, Siófoki) összesen 383 folyami géb egyedet fogtunk 2017 tavaszán (április 25 és május 19 között) és nyarán (július 12 és augusztus 3 között). A mintavételek során mindegyik medencében 7 mintavételi pont-ról gyűjtöttünk egyedeket; az északi és déli parton 3-3 (kikötő, parti kövezés, nádas) valamint egy nyíltvízi élőhelyről. A folyami gébek begyűjtése mindkét évszakban kétféle módszerrel történt. Minden élőhelyre

(évszakonként 28 mintavételi pont) 5-5 varsát helyeztünk ki egy éjszakára, melyeket másnap délelőtt szedtünk fel. A varsás mintavételek után, nappal elektromos halászgéppel is mintáztuk az adott élőhelyet. A begyűjtött folyami géb egyedeket szegfűszegolajjal túlaltattuk, majd -20 fokon tartósítottuk a további vizsgálatokig. Minden egyednek lemértük a testhosszát, testtömegét, majd meghatároztuk nemüket és mértük az ivarszervük tömegét. Abban az esetben, ha jelen volt hasüregükben a galandféreg, akkor annak tömegét is meghatároztuk.

Az egyedek kondícióját (K) a Fulton-féle egyenlet alapján számoltuk, az alábbiak szerint: $K = (W/L^3) \times 100$, ahol W =testtömeg (g), L =teljes testhossz (cm). A parazitával fertőzött egyedek esetén a teljes testtömegből kivontuk a galandféreg tömegét és ezután számoltunk kondícióját. A begyűjtött folyami gébek esetében nem tapasztaltunk méret, fertőzöttségi ráta, vagy kondícióját tekintetében eltérést a két mintavételi módszerrel gyűjtött egyedek között, ezért együtt elemeztük őket.

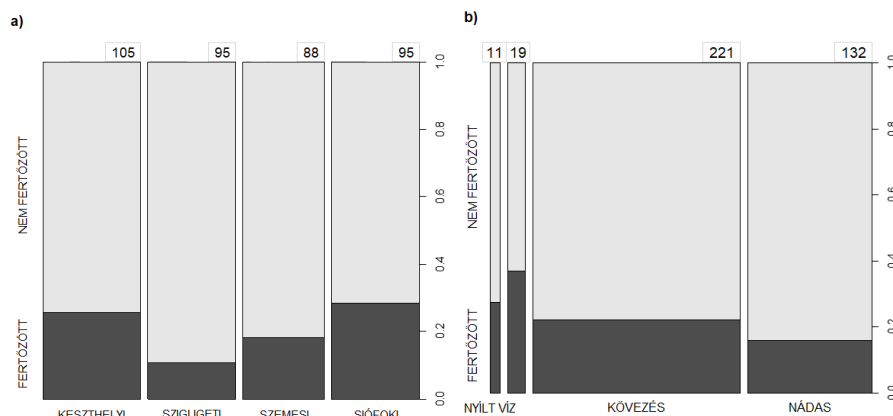
A statisztikai elemzéseket R 3.3.2 programcsomaggal végeztük. A parazita jelenlétének és tömegének hatását az egyedek kondíciójára, valamint az ivarszerv tömegére többváltozós általános lineáris modell segítségével vizsgáltuk. Függő változóink a kondícióját és az ivarszerv tömege voltak, magyarázó változóink az első elemzésben a parazita jelenléte és a háttérváltozók (lásd 2. táblázat, a és b), második esetben a fertőzött egyedek csoportján belül a parazita tömege és a háttérváltozók voltak (lásd 2. táblázat, c és d). Háttérváltozóknak az egyedek testhosszát, ivarát, a mintavételi évszakot és az ivar – évszak interakciót választottuk, mivel azt feltételeztük, hogy ezek a változók hatással lehetnek a vizsgált függő változókra. Ezután kiejtéses változó szelekcióval („backward stepwise regression”) távolítottuk el a nem szignifikáns magyarázó változókat a modellből. Egyetlen esetben tértünk el ettől, a 2. táblázat d elemzés során, ahol a gonád tömeget függő változóként vizsgálva a nem szignifikáns hatású „ivar” változót bent hagytuk a modellben, hogy az ivarra korrigáljunk. (Megjegyzendő, hogy a nem szignifikáns hatású „ivar” változó eltávolítása esetén sem tapasztaltunk kvalitatív különbséget a modell további változóinak hatásában.)

EREDMÉNYEK

A begyűjtött 383 darab folyami géb térbeli eloszlását és fertőzöttségi gyakoriságát mutatja az 1. táblázat évszak és észak-déli gradiens szerinti, valamint az 1. ábra medence és élőhely szerinti bontásban. Az egyedekre jellemző kondícióját értékek medence szerinti megoszlását a 2. ábra szemlélteti. A folyami gébek medencék közötti eloszlása kiegyenlített volt, fertőzöttségi gyakoriságuk eltérést mutatott: legalacsonyabb a Szigligeti-medencében, míg legmagasabb a Siófoki-medencében volt (1/a. ábra).

1. táblázat. Folyami gébek egyedszáma és fertőzöttségi gyakorisága (%) évszak és észak-déli gradiens szerint
 Table 1. Distribution of monkey gobies and the infection rates (%) along north-south gradient of the lake at different seasons

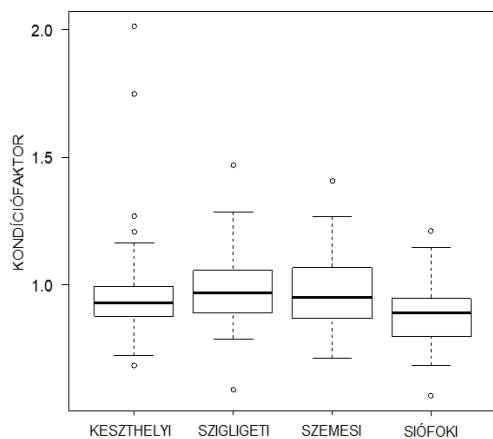
TAVASZ	Fertőzött	Nem fertőzött	Σ	%	NYÁR	Fertőzött	Nem fertőzött	Σ	%	Σ egyed	Teljes %
Északi part	18	54	72	25	Északi part	20	24	44	45,5	116	32,8
Nyílt víz	0	0	0		Nyílt víz	3	8	11	23,7	11	23,7
Déli part	7	157	164	4,3	Déli part	32	60	92	34,8	256	15,2
Összes	25	211	236	10,6	Összes	55	92	147	34,7	383	20,9



1. ábra. Folyami gébek *Ligula sp.* galandfőreggel való fertőzöttségi gyakoriságának eloszlása a) a Balaton négy medencéjében, b) négy élőhely típusban. Az oszlopok felett az egyedszámokat tüntettük fel

Figure 1. Frequency of ligula infection of monkey gobies in the a) 4 basins, b) 4 habitat types of Lake Balaton. Numbers above the columns indicate sample sizes

Az egyedek kondíciójának medencénkénti eloszlása utóbbival éppen ellentétes mintázatot mutatott: a Szigligeti-medencében volt a legmagasabb, míg a Siófoki-medencében a legalacsonyabb az átlagos kondíciójuk érték (2. ábra).



2. ábra. Folyami gébek kondíciójának eloszlása a Balaton négy medencéjében. A boxplot ábrán a vonal az értékek mediánját, a négyzet az interkvartilis tartományt mutatja

Figure 2. Condition factor of monkey gobies in the 4 basins of Lake Balaton

A vizsgált egyedek 46%-a hím, 54%-a nőstény volt. Testhosszuk 3 cm-től 13 cm-ig terjedt, fertőzött egyedül a legkisebb (3-4 cm-es teljes testhosszú) méret-tartományban nem találtunk. A fertőzött egyedek testtö-

megének átlagosan $4,3 \pm 3,3\%$ -át tette ki a parazita tömege, legnagyobb tömegaránya azonban elérte a 13%-ot.

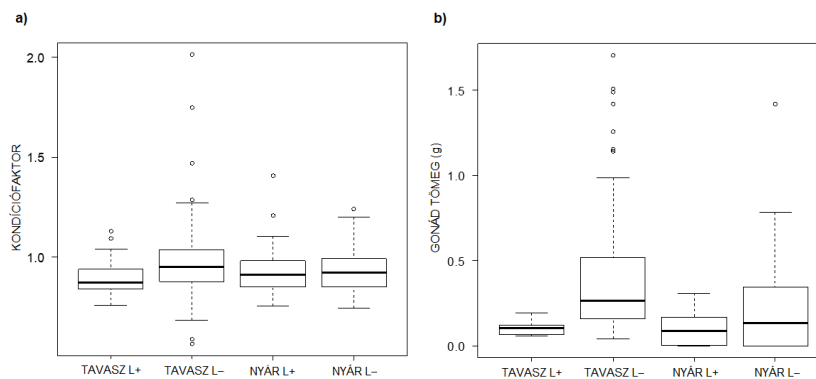
A kondíciójuk a galandfőreg eltávolítása előtt, majd után mért értéke átlagosan 4%-os eltérést mutatott a fertőzött egyedek csoportjában. A galandfőreg jelenléte és tömege is szignifikánsan negatívan hatott az egyedek kondíciójára és gonád tömegére (2. táblázat, 3. ábra).

EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE

A 2017 tavaszán és nyarán végzett mintavételeink bizonyítják, hogy a folyami góbé tömegesen elterjedt halfaj a Balatonban, az állomány stabilitását jelzi a kiegyenlített ivararány. A folyami gébek „energia mediátorként” fontos szerepet töltenek be a Balaton litorális régiójának táplálékhálózatában (Bíró 1995). A ponto-kaszpikus eredetű gébfélék terjedése jelentős hatással bírhat a meghódított terület halfaunájára nézve, az őshonos bentikus életmódot folytató halfajok állományának csökkenését okozhatják (Jurajda és társai 2005). A Duna magyarországi szakaszán Molnár (2006) a gébfélék megjelenésének eredményeként a halfauna összetételének átalakulását és fajgazdagabb parazitaközösség kialakulását írta le. A folyami góbék összességében kisebb inváziós sikert, lassabb terjedési potenciált és csekélyebb ökológiai hatást tulajdonítanak, mint a többi gébfélének (Čáporová és társai 2008). Ennek egyik oka, hogy a folyami góbé leginkább homokos aljzathoz kötődik (Čáporová és társai 2008, Erős és társai 2005, Jurajda és társai 2005), mely korlátozhatja széleskörű elterjedését.

2. táblázat A folyami gébek kondíciójának és gonád tömegének értékét befolyásoló változók. Az a) és b) esetben a parazita jelenlétének, míg c) és d) esetben a parazita tömegének hatását vizsgáltuk, szignifikancia szintjük vastagon kiemelve
Table 2. Factors determining condition factor and gonad weight of gobies. In a) and b) infection by parasite, in c) and d) the weight of the parasite is involved in the model, their significance level indicated in bold

Függő változó	Magyarázó változók	Szabadsági fok	Becsült hatás	F-érték	p-érték
a) Kondícióját	Fertőzött	1;370	-0,043	4,936	0,0269
	TL	1;370	0,029	57,04	<0,001
	Ivar	2;370	0,124	6,574	0,0016
	Évszak	1;370	0,073	1,120	0,2905
	Évszak*Ivar	2;370	-0,122	7,210	<0,001
b) Gonád tömeg	Fertőzött	1;129	-0,224	14,43	0,0002
	TL	1;129	0,080	31,46	<0,001
	Ivar	2;129	-0,295	10,51	<0,001
	Évszak	1;129	-0,115	3,988	0,0479
c) Kondícióját	Ligula tömeg	1;76	-0,023	9,634	0,0027
	TL	1;76	0,033	16,90	<0,001
d) Gonád tömeg	Ligula tömeg	1;17	-0,073	6,397	0,0216
	TL	1;17	0,040	10,71	0,0045
	Ivar	2;17	-0,002	0,254	0,7787



3. ábra. Balatoni folyami gébek a) kondícióját és b) gonád tömege, tavasszal és nyáron, ligulával fertőzött (L+) és nem fertőzött (L-) egyedeknél. Ábramagyarázat: lásd 2. ábra

Figure 3. The a) condition factor and b) gonad weight of monkey gobies from spring (TAVASZ) and summer (NYÁR) in groups of fishes infected with ligula (L+) and not infected ones (L-)

A begyűjtött egyedeknek összesen 20,9%-ában találtunk parazita galandférgyet, mely alacsonyabb, mint a 2006-2009-es felmérés során Molnár és Székely (2010) által leírt 53%-os arány. Ugyanakkor a 2017-es mintavételek során a tihanyi kövezéséről begyűjtött folyami gébek esetében 67%-os fertőzöttségi arányt tapasztaltunk, mely szerint az élőhely az átlagos balatoni fertőzöttségi szinten magasán túlmutató lokális fertőzöttségi gócpont lehet. Eredményeink arra engednek következtetni, hogy a fertőzöttségi gyakoriság a folyami géb állományban nagymértékű ingadozást mutathat élőhelyek viszonylatában.

A folyami gébek fertőzöttségi gyakoriság eloszlása negatív korrelációt mutatott a kondícióját eloszlásával a Balaton négy medencéje között. Feltételezzük, hogy a magasabb parazitanyomás is hozzájárult a kondíciójátban megmutatkozó területi különbségekhez.

Az élőhely típusok tekintetében a legmagasabb fertőzöttségi arányt a kikötőkben tapasztaltuk. A Ligula sp. galandférgyet terjedésének biztosításához a halak (közti-gazdák) mellett szükség van a végső gazdákra, vagyis a vízi madarakra is (Molnár és Székely 2013). Utóbbiak

hiányában a galandférgyet lárvája nem éri el a kifejlett állapotot és nem képes petét rakni. Ebből adódóan a lokálisan magas fertőzöttségi arány a halfogyasztó vízi madarak magas egyedszámát, esetleg fészkelő helyét is feltételezheti. A jelenség vizsgálatára a galandférggyel való fertőzöttség térbeli mintázatát szükséges volna összevetni a területen előforduló halfogyasztó madárfajok előfordulási, illetve fészkelési adataival.

Az északi parton a magas fertőzöttségi gyakoriság mellett a folyami gébek alacsonyabb előfordulási gyakoriságát is tapasztaltuk. A déli partszakasz több tulajdonságában is eltér az északi parttól, amely részben magyarázhatja a különbségeket, de feltételezhető, hogy az északi parton tapasztalt alacsonyabb géb egyedszám kialakulásához az itteni állomány nagyobb arányú fertőzöttsége is hozzájárult. Ennek oka, hogy az állományra jellemző mortalitási rátát befolyásolhatja a fertőzött egyedek gyakorisága (Claridge és társai 1985). Museth (2001) szíjgalandférggyel fertőzött ürge cselle (*Phoxinus phoxinus*) egyedek szelektív mortalitását mutatta ki egy vizsgálat-

ban, ahol a hal méretének növekedésével a fertőzöttségi gyakoriság csökkenését is tapasztalta.

Jelen vizsgálatban kimutattuk, hogy a *Ligula* sp. galandfőreg jelenléte, valamint a parazita tömege is negatívan hatott a folyami gébek kondíciófaktorára és az ivarszerveik tömegére. A folyami gébek hasüregében élősködő parazita főreg - sok esetben több példánya - jelentős mértékben elvonja a hal energiaforrásait, mely hatással bír mind a tartalék tápanyagok felhalmozására, mind az ivarszervek fejlődésére. A fertőzött egyedek csoportjában egy nem várt eredményt kaptunk, az ivarszerv tömegére az ivar nem volt kimutatható hatással. A teljes vizsgált folyami géb állományra ugyanakkor igaz, hogy a gonád tömege a szaporodási időszakban erős ivari dimorfizmust mutat. A fertőzött egyedek esetén azonban a galandfőreg parazita olyan mértékben gátolhatja az ivarszerv fejlődését, hogy a nőtények nem képesek nagyobb tömegű ikrát termelni, mely megmutatkozna az ivarok különbözőségéiként.

A kondíciófaktor értékére az évszak és az ivar interakciója szignifikáns hatással bírt. Míg a nőtények kondíciófaktora nyárra nőtt, a hímek kondíciófaktora csökkent. A jelenség hátterében a folyami gébek utódgondozási sajátossága áll. A hímek a lerakott ikrákat hetekig őrzik, közben a fészket legfeljebb rövid időre hagyják el, ez időszak alatt táplálkozásuk nem fedezi szükségleteiket, mely a kondíciójuk romlásához vezet (Pintér 2002). Az újonnan meghódított területeken általában jellemző, hogy a gébfélék növekedése lassabb, energia forrásaik jelentős részét inkább a szaporodásba fektetik, mely sikeresebb kolonizációt eredményezhet (Plachá és társai 2010). A folyami géb balatoni állományára jellemző volt az elhúzódozó ívási időszak, a mintavételi periódus során április és augusztus között végig jelen voltak érett ikrával rendelkező nőtények. A fertőzött egyedekre jellemző fejletlenebb, kisebb tömegű ivarszervek és az adott testmérethez társuló alacsonyabb testtömeg a szaporodási siker csökkenését eredményezhetik. A galandfőreggel való fertőzöttség együtt járhat különböző viselkedésbeli változásokkal is (Barber és társai 2000, Bean és Winfield 1989), melyek az egyed elhullásához is vezethetnek. A mortalitási ráta feltételezett növekedését a folyami gébek fertőzött csoportjában még vizsgálni szükséges.

A kondíciófaktor számítása során jelentős különbséget okozott, hogy a testtömeg meghatározásakor a parazita a hasüregben volt-e, vagy eltávolítottuk. A kisméretű halak hasüregében lévő galandfőreg az állat teljes testtömegéhez viszonyítva jelentős tömeget képviselhet, amely a kondíciófaktor meghatározásánál félrevezető adatot szolgáltat. Jelen esetben a galandfőreggel való fertőzés átlagosan 4%-os tömegbeli eltérést eredményezett, de ez egy esetben a 13%-ot is elérte. A fentiek fényében azon kutatások során, amelyek a folyami gébek vagy egyéb kisméretű halfajok kondíciófaktorát is vizsgálják, a galandfőreggel való fertőzöttséget szükséges figyelembe venni.

A ligulával való fertőzöttség elterjedt jelenség a Balaton különböző halfajainál (Garádi és Bíró 1975: dévérkeszeg - *Abramis brama*; Molnár és Székely 2010: dévérkeszeg,

bodorka - *Rutilus rutilus*, garda - *Pelecus cultratus*, küsz - *Alburnus*, folyami géb). A fertőzés hatását és a fertőzöttségi gyakoriságot fontosnak tartjuk kutatni a különféle halfajok állományában. A jövőben különös hangsúllyal fogjuk vizsgálni a magas fertőzöttségi gyakorisággal jellemezhető lokális gócpontokat, távlati célunk pontosabban meghatározni a parazita állomány fenntartásához szükséges környezeti feltételeket.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönetet szeretnénk mondani Tóth Árpád Imrének a terepi munkák során nyújtott segítségéért. A kutatás anyagi támogatását a GINOP-2.3.2-15-2016-00004 pályázat biztosította.

IRODALOMJEGYZÉK

Barber, I., Hoare, D., Krause, J. (2000). Effects of parasites on fish behaviour: a review and evolutionary perspective. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 10(2), 131-165.

Bean, C. W., Winfield, I. J. (1989). Biological and ecological effects of a *Ligula intestinalis* (L.) infestation of the gudgeon, *Gobiogobio* (L.), in Lough Neagh, Northern Ireland. *Journal of Fish Biology*, 34(1), 135-147.

Bíró, P. (1972). *Neogobius fluviatilis* in Lake Balaton a Ponto-Caspian goby new to the fauna of central Europe. *Journal of Fish Biology*, 4(2), 249-255.

Bíró, P. (1995). A folyami géb (*Neogobius fluviatilis* Pallas) növekedése és tápláléka a Balaton parti övében. *Halászat*, 88(4), 175-184.

Čápravá, M., Zlatnická, I., Kováč, V., Katina, S. (2008). Ontogenetic variability in the external morphology of monkey goby, *Neogobius fluviatilis* (Pallas, 1814) and its relevance to invasion potential. *Hydrobiologia*, 607(1), 17-26.

Claridge, P. N., Hardisty, M. W., Potter, I. C., Williams, C. V. (1985). Abundance, life history and ligulosis in the gobies (Teleostei) of the inner Severn estuary. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 65(4), 951-968.

Copp, G. H., Bianco, P. G., Bogutskaya, N. G., Erős, T., Falka, I., Ferreira, M. T., Fox, M. G., Freyhof, J., Gozlan, R. E., Grabowska, J., Kováč, V., Moreno-Amich, R., Naseka, A. M., Peñáz, M., Povz, M., Przybylski, M., Robillard, M., Russel, I. C., Stakénas, S., Sumer, S., Vila-Gispert, A., Wiesner, C. (2005). To be, or not to be, a non-native freshwater fish? *Journal of Applied Ichthyology*, 21(4), 242-262.

Danilkiewicz, Z. (1998). Babka szczupła, *Neogobius fluviatilis* (Pallas, 1811), Perciformes, Gobiidae-nowy, pontyjski element w ichtiofaunie zlewiska Morza Bałtyckiego. *Fragmenta Faunistica*, 41(21), 269-277. (Lengyel nyelven, angol összefoglalással)

Dubinina M. N. (1959). A new ligula species - *Ligula pavlovskii*, SP. N. from *Benthophilus stellatus* Sauvage (Gobiidae). *Zoological Institute of the Academy of Sciences of the USSR (Leningrad)*

Erős, T., Sevcsik, A., Tóth, B. (2005). Abundance and night-time habitat use patterns of Ponto-Caspian gobiid

species (Pisces, Gobiidae) in the littoral zone of the River Danube, Hungary. *Journal of Applied Ichthyology*, 21(4), 350-357.

Garádi, P., Bíró, P. (1975). The effect of ligulosis on the growth of bream (*Abramis brama* L.) in Lake Balaton. *Annales Instituti Biologici (Tihany) Hungaricae Academiae Scientiarum*, 42, 165-173.

Gertzen, S., Fidler, A., Kreische, F., Kwabek, L., Schwamborn, V., Borcharding, J. (2016). Reproductive strategies of three invasive Gobiidae co-occurring in the Lower Rhine (Germany). *Limnologica-Ecology and Management of Inland Waters*, 56, 39-48.

Grabowska, J. (2005). Reproductive biology of racer goby *Neogobius gymnotrachelus* in the Włocławski Reservoir (Vistula River, Poland). *Journal of Applied Ichthyology*, 21(4), 296-299.

Grabowska, J., Grabowski, M., Kostecka, A. (2009). Diet and feeding habits of monkey goby (*Neogobius fluviatilis*) in a newly invaded area. *Biological invasions*, 11(9), 2161-2170.

Harka, Á. (1993). Invasion of the *Neogobius fluviatilis*. *Halászat*, 86(4), 180-181.

Harka, Á., Bíró, P. (2007). New patterns in Danubian distribution of Ponto-Caspian gobies—a result of global climatic change and/or canalization. *Electronic Journal of Ichthyology*, 1, 1-14.

Jurajda, P., Černý, J., Polačik, M., Valová, Z., Janáč, M., Blažek, R., Ondračková, M. (2005). The recent distribution and abundance of non-native *Neogobius* fishes in the Slovak section of the River Danube. *Journal of Applied Ichthyology*, 21(4), 319-323.

Kakareko, T., Żbikowski, J., Żytkowicz, J. (2005). Diet partitioning in summer of two syntopic neogobiids from two different habitats of the lower Vistula River, Poland. *Journal of Applied Ichthyology*, 21(4), 292-295.

Molnár, K. (2003). Halbetegségek. *Magyar Országos Horgász Szövetség*.

Molnár, K. (2006). Some remarks on parasitic infections of the invasive *Neogobius* spp. (Pisces) in the Hungarian reaches of the Danube River, with a description of *Goussia szekelyi* sp. n. (Apicomplexa: Eimeriidae). *Journal of Applied Ichthyology*, 22(5), 395-400.

Molnár, K., Székely, Cs. (2010). Régi és újabb megfigyelések a Ligula intestinalis okozta galandférgesség balatoni előfordulásáról. Halászati Tudományos Tanácskozás

Molnár, K., Székely, Cs. (2013). A kárókatona, mint a halak intenzív parazitás fertőzöttségének okozója. XXXVII. Halászati Tudományos Tanácskozás.

Museth, J. (2001). Effects of *Ligula intestinalis* on habitat use, predation risk and catchability in European minnows. *Journal of Fish Biology*, 59(4), 1070-1080.

Ondračková, M., Dávidová, M., Pečínková, M., Blažek, R., Gelnar, M., Valová, Z., Černý, J., Jurajda, P. (2005). Metazoan parasites of *Neogobius* fishes in the Slovak section of the River Danube. *Journal of Applied Ichthyology*, 21(4), 345-349.

Pintér, K. (2002). Magyarország halai, Akadémia Kiadó, Budapest

Plachá, M., Balázová, M., Kovác, V., Katina, S. (2010). Age and growth of non-native monkey goby *Neogobius fluviatilis* (Teleostei, Gobiidae) in the River Ipeľ, Slovakia. *Folia Zoologica*, 59(4), 332.

Szalóky, Z., Bammer, V., György, Á. I., Pehlivanov, L., Schabuss, M., Zornig, H., Weiperth, A., Erős, T. (2015). Offshore distribution of invasive gobies (Pisces: Gobiidae) along the longitudinal profile of the Danube River. *Fundamental and Applied Limnology/Archiv für Hydrobiologie*, 187(2), 127-133.

Yuryshynets, V. I., Kornishyn, V. V., & Podobaylo, A. V. (2017). The First Finding of Plerocercoids *Ligula pavlovskii* Dubinina, 1959 (Cestoda, Diphyllbothriidae) in Gobies from the Freshwater Kakhovka Reservoir. *Hydrobiological Journal*, 53(2).

A SZERZŐK



BOROSS NÓRA Biológus, MSc diplomáját az ELTE Ökológia, Evolúció- és Konzervációbiológia szakirányán szerezte. A viselkedésökológia csoportban kutatási témája a fiziológiai és ökológiai stressz kapcsolata énekesmadaraknál. Jelenleg az MTA Ökológiai Kutatóközpont Balatoni Limnológiai Intézetében, a Hidroökológiai Osztályon dolgozik tudományos segédmunkatársként. Kutatási területe: halökológia, halállomány-felmérés. (boross.nora@okologia.mta.hu)

CZEGLÉDI ISTVÁN Ph.D. Az MTA Ökológiai Kutatóközpont, Balatoni Limnológiai Intézetének tudományos munkatársa. Egyetemi tanulmányait Debrecenben végezte. A Debreceni Egyetemen 2012-ben szerzett Hidrobiológus MSc diplomát. 2016-ban védte meg Ph.D.-jét a Debreceni Egyetem Környezettudományi Doktori iskolájában. Kutatási területe: halegyüttesek szerveződése, idegenhonos halfajok ökológiája.

PREISZNER BÁLINT, Az ELTE-n vizes élőhelyeket érintő madárökológiai kutatásokban való részvétel, és azok eredményeiből készült szakdolgozat után rövid kitérőt tettem a tanári pályára. Onnan a Pannon Egyetem Limnológiai Intézet tanszékén folyó madártani kutatások révén tértem át a kutatói pályára, ahol elsősorban viselkedésökológiai kérdéseket vizsgáltunk. Később az MTA ÖK BLI Halökológiai Kutatócsoportjába kerültem, ahol érdeklődésem fókuszában továbbra is a viselkedésökológiai kérdések állnak, de e mellett egyéb ökológiai kérdések vizsgálatában veszek részt.

BURÁNYI MÁTÉ, tanulmányait a Pannon Egyetem Mérnöki Karának Limnológia Tanszékén, Limnológia, Környezetbiológia alapszakon végzi. A Balatoni Limnológiai Intézetben részt vesz hidroakusztikai felmérésekben és gébfélék parazitológiai kutatásában.

BOROS GERGELY az MTA Ökológiai Kutatóközpont Balatoni Limnológiai Intézetének tudományos főmunkatársa, a Bioakusztika és Biomanipuláció Kutatócsoport vezetője. Egyetemi diplomáját és PhD fokozatát egyaránt a Debreceni Egyetemen szerezte. Kutatási területe: ökológiai sztöchiometria, trofikus interakciók, tápanyagforgalom, sekély állóvizek biomanipulációja, Ázsiából betelepített halfajok ökológiai szerepe, mezokozmosz kísérletek.

ERŐS TIBOR Ph.D. Az MTA Ökológiai Kutatóközpont tudományos főmunkatársa. Egyetemi tanulmányait az ELTE biológus szakán végezte. Kutatási területe: halökológia, hidrobiológia, természetvédelmi biológia. A Magyar Hidrológiai Társaság tagja.

KERN BERNADETT, az MTA Ökológiai Kutatóközpont, Balatoni Limnológiai Intézet Hal és Bentosz kutatócsoportjának intézeti mérnöke. Felsőfokú tanulmányát a Kaposvári Egyetem Agrár- és Környezettudományi Karán Természetvédelmi mérnök-ként végezte el. Jelenleg a Pannon Egyetem Limnológia Tanszékén Környezettudomány mesterszakon tanul.

SPECZIÁR ANDRÁS Ph.D. Az MTA Ökológiai Kutatóközpont, Balatoni Limnológiai Intézetének tudományos főmunkatársa. Egyetemi tanulmányait ELTE biológus szakán végezte. 1994 óta dolgozik Tihanyban. Kutatási területe: halbiológia, hidrobiológia. A Magyar Hidrológiai Társaság tagja.

TAKÁCS PÉTER Ph.D. Az MTA Ökológiai Kutatóközpont, Balatoni Limnológiai Intézetének tudományos főmunkatársa. A Debreceni Egyetemen 2001-ben biológus-ökológus, 2003-ban halászati szakmérnöki oklevelet szerzett. 2007-ben a Debreceni Egyetem Környezettudományi Doktori iskolájában védte meg Ph.D.-jét. Kutatási területe: kisvízfolyások komplex hidrobiológiai kutatása, őshonos és inváziós halfajok genetikai és morfometriai vizsgálata.

VITÁL ZOLTÁN Ph.D., okleveles hidrobiológus. Tudományos munkatárs, MTA Ökológiai Kutatóközpont, Balatoni Limnológiai Intézet. Kutatási területe a Balatonban lévő idegenhonos halfajok (busa fajok, gébfélék) ökológiájának, populációdinamikájának vizsgálata, különféle halfajok morfometriai vizsgálata, valamint hidroakusztikai felmérések.

Hajók keltette hullámozás hatásának feltárása terepi mérési és számítógépes modellezési eszközökkel a litorális zónában

Fleit Gábor, Baranya Sándor, Józsa János

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék, 1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3.
(E-mail: fleit.gabor@epito.bme.hu, baranya.sandor@epito.bme.hu, jozsa.janos@epito.bme.hu)

Kivonat

A hajók keltette hullámozás ökológiai szempontból kedvezőtlen hatásai már megfogalmazódtak a témát gondozó szakértőkben, azonban a jelenséghez köthető biotikus és abiotikus paraméterek feltárása és összekapcsolása még nemzetközi szinten is újszerű. Jelen tanulmány keretein belül egy dunai esettanulmányon keresztül vizsgáljuk a hajók által keltette hullámok partközeli áramlásra kifejtett hatásait. A korszerű műszerekkel végzett, nagy időbeli felbontású nyomás-, illetve háromdimenziós sebességméréseket újszerű adatelemzési eljárással értékelve részletes képet kaphatunk a hullámzások áramlástani hatásairól, továbbá lehetőségünk van számítógépes modellek felépítésére, paraméterezésére és ellenőrzésére is. A számítógépes modellekkel ki nem mért, vagy ki nem mérhető állapotok is vizsgálhatóvá válnak. Eredményeink alapján külföldi tanulmányok mintájára bemutatjuk a hidrológiai és biológiai paraméterek összekapcsolásának lehetőségét.

Kulcsszavak

hajóhullámok, Duna, terepi mérés, numerikus áramlásmodellezés, élőhely-hidraulika

Investigation of ship induced waves in the littoral zone by means of field and computational methods

Abstract

The negative effects of ship induced waves on the littoral ecosystem had already been realized, however, revealing and connecting the relevant biotic and abiotic parameters is still considered to be a novel approach, even internationally. Herein study aims to present a methodology for assessing the hydrodynamic effects of ship induced waves in the littoral zone through a sample application in the Hungarian Danube. Field measurements conducted with high resolution acoustic velocimeters and pressure sensors coupled with up-to-date data processing methods provide with a thorough yet detailed image on the nature of such waves. Furthermore, these measurements support to properly set up, parameterize and validate numerical models, which let us examine conditions for which no measurements are available. Based on our results and some examples from the international literature, a sample application is presented on how to connect hydraulic and biologic parameters.

Keywords

ship waves, Danube, field measurements, CFD, ecohydraulics

BEVEZETÉS

A hajókkal történő teher és utasszállítás köztudottan napjaink egyik legkörnyezetkímélőbb fuvarozási formája, az esetlegesen megjelenő káros hatások vizsgálata mégis kulcsfontosságú. A vízi élőlények hajócsavarral való ütközése például súlyos mechanikai sérüléseket eredményez (Jackivic és Kuzminsk, 1973), míg a különböző olaj- és üzemanyagszennyezések egyértelmű vízminőségi problémákhoz vezethetnek. Hajózási céllal épült csatornák meglévő biogeográfiai határok megszűnését jelentetik, melyek így szélsőséges esetben nem honos, invazív fajok térnyerése révén a biodiverzitás csökkenését is okozhatják (Nehring 2005).

A folyami közlekedéshez köthető hullámesemények ideje alatt a partközeli zónákban többszörösére növekedhetnek az áramlási sebességek, mely intenzívebb parterózióhoz, valamint a sekély vízű, alacsony áramlási sebességű habitatokat preferáló élőlények (pl. halivadékok, makrogerinctelenek stb.) elsodrásához vezet (Gabel és társai 2008, Kucera-Hirzinger és társai 2008). Az áramlási sebességnövekmények, valamint a megnövekedett turbulencia következtében a partközeli zónákban jellemző, finomfrakciójú hordalék fel is keveredhet, mely jelentősen befolyásolhatja a fény behatolá-

si mélységét és így a fitoplankton növekedését is (Schallenberg és Burns 2004), mely a partközeli ökoszisztémák egy alapvető eleme.

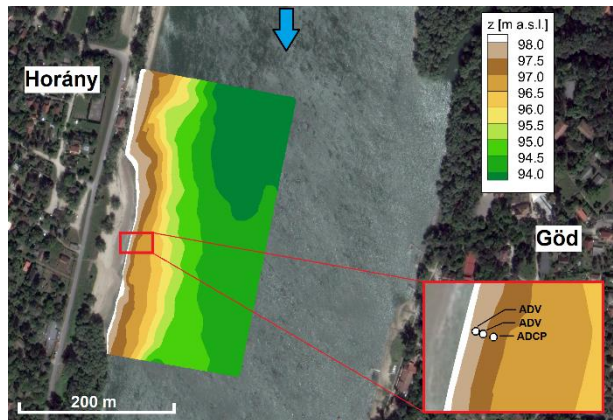
A hajók keltette hullámozás vizes élőlényekre és élőhelyekre gyakorolt hatásai tehát már felismerésre kerültek, azonban a releváns biotikus és abiotikus paraméterek összekapcsolása még nemzetközi szinten is gyermekcipőben jár (pl. Fleit és társai 2016, Schludermann és társai 2013). Jelen munka célja egy korszerű mérési-, adatfeldolgozási- és számítógépes modellezési módszertan bemutatása, mellyel a hajózáshoz köthető élőhely-hidraulikai vizsgálatok áramlástani oldalról történő támogatását kezdeményezzük.

MÓDSZER

Vizsgálati terület, terepi mérések

A vizsgálati módszertan bemutatására egy Duna-szakaszt választottunk, amely jelentős hajóforgalomnak kitett és jelentős ökológiai értéket képvisel az ott megtalálható halfauna miatt. A vizsgálati terület a Duna váci ágában, Horány térségében található (1668 fkm) (1. ábra). A terepi méréseket a folyó jobb partjáról, a Szentendrei szigetről végeztük, mely ezen a szakaszon két ágra oszta a Duna vizét. Mivel a vizsgált váci Duna-ágban

folyik a teljes vízhozam közel kétharmada, így ez szolgál hajózási útvonalként is. A vizsgált szakaszon több hajózási célú folyószabályozás is történt a múltban, a legközelebbi sarkantyúpár a vizsgált partszakasztól 1 km-re felvízi irányban található. A terepi mérést a partvonal közvetlen közelében, a litorális zónában végeztük, ahol a hajóhullámok ökológiai hatása vélhetően a legjelentősebb.



1. ábra. A vizsgálati terület ortofotója és a part közeli zóna medertérképe
Figure 1. Orthophoto of the study area, and the digital elevation model of the near-bank region

A mérési kampányt 2017. június 19-én egy középvízi állapotban tartottuk. Az egynapos mérés során összesen 16 hajó elhaladtát követő hullámeseményt rögzítettünk. Annak érdekében, hogy a hajóhullámok áramlástani hatásait a lehető legrészletesebben feltárjuk, több pontban egyidejűleg végeztünk nyomás- és sebességméréseket. A parthoz legközelebb elhelyezett akusztikus áramlásmérőműszerrel (ADV) 16 Hz-es mintavételi frekvencián rögzítettünk áramlásméréseket 43 cm-es teljes vízmélységben, a meder felett 8 cm-el. A második ADV 65 cm-es teljes mélységű függőben került elhelyezésre és a meder felett 17 cm-rel mintázott áramlási sebességeket és hidrodinamikai nyomásmagasságokat 16 Hz-en. A harmadik akusztikus műszer (ADCP) 102 cm-es teljes vízmélységben került elhelyezésre a mederfenéken, ahol 8 Hz-en végzett nyomás és függélymenti sebességeloszlás méréseket. A korszerű mérőműszerekből álló installációt kiegészítettük egy GoPro HERO 4 típusú, széleslátószögű kamerával is (2. ábra). A videófelvételeket képfeldolgozáson alapuló módszerekkel elemeztük. A következőkben az akusztikus, a nyomásalapú és a videó alapú mérések feldolgozási módszereit és legfontosabb eredményeit mutatjuk be, majd rátérünk a számítógépes modellvizsgálatokra.

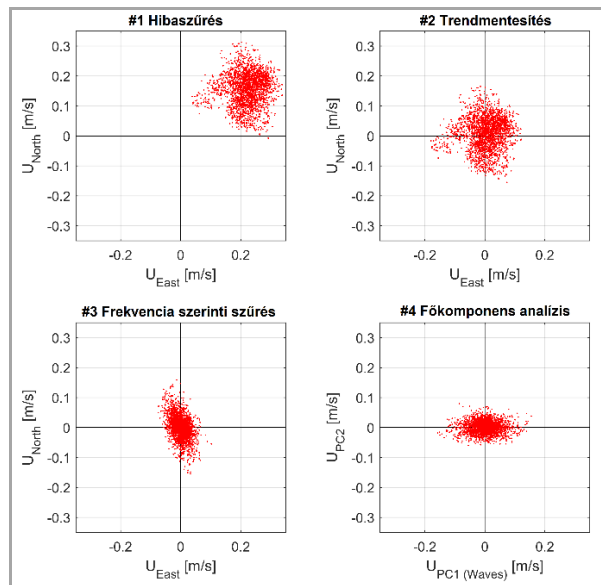
Akusztikus és nyomásalapú mérések

Az áramlási sebességmérések feldolgozásának első lépése a hibás, az adatsorokból tipikusan tüskeszerűen (spike) kiugró sebességértékek kiszűrése, melyet az ún. phase-space thresholding (PTM) módszerrel végeztünk el (Goring és Nikora 2002). A következő lépésekben a mért sebesség-idősorból azt a komponenset keressük, amelyik pusztán a hullámozást fejezi ki. Ehhez elsőként a folyó

áramlásából származó, a mérés ideje alatt közel állandónak tekinthető háttéráramlás hatását választjuk le, amelyet a sebesség-adatsorok konstans trendmentesítésével értük el, majd a hajók leszívó hatásából eredő, nagy periódusidejű (~1-2 perc) vízlejtés hatását Butterworth-filterrel szűrtük ki. Ezen idősorok főkomponens elemzésével előálltak a tisztán hullámozáshoz köthető áramlási sebességvektor-idősorok. A feldolgozás egyes lépéseire tartozó, vízszintes áramlási sebességeket szemlélteti a 3. ábra egy mért hullámesemény példáján.



2. ábra. A terepi mérési elrendezés fényképe
Figure 2. Photograph of the field measurement setup

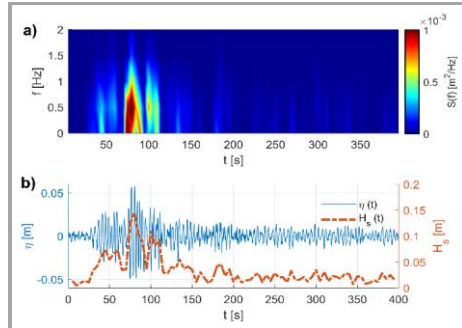


3. ábra. Vízszintes síkba eső, pontbeli áramlási sebességek feldolgozásának lépései

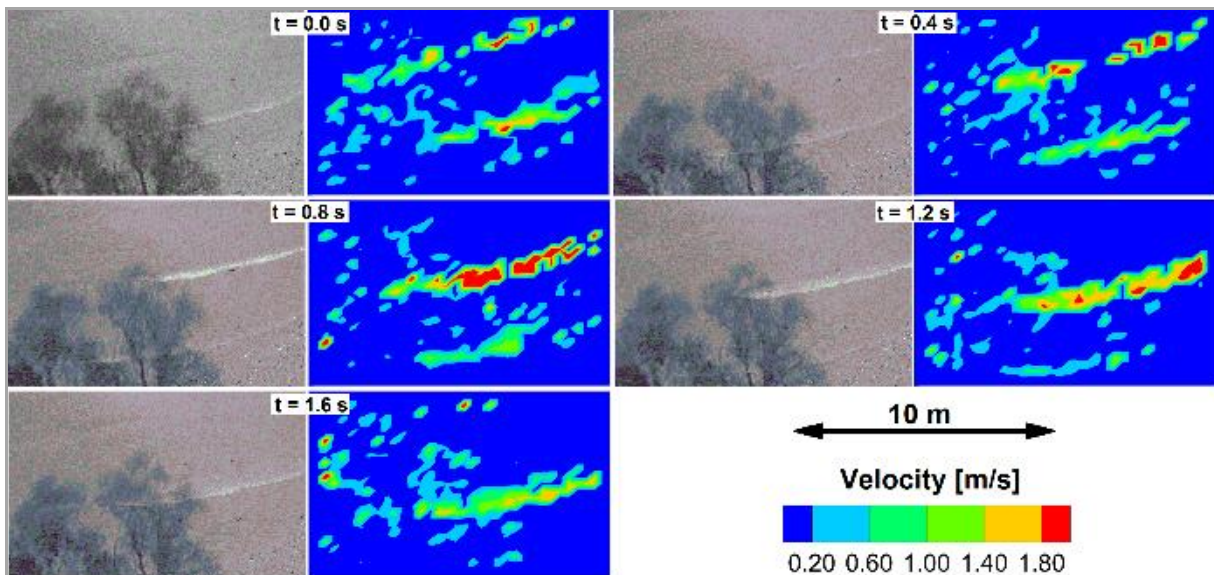
Figure 3. Steps of progressing horizontal, single-point velocity time series

A nagyfrekvenciájú nyomásmérések alapján lehetőségünk van a vízfelszín vizsgált függélybeli mozgásának számszerűsítésére, ami alapján a különböző hullámparaméterek időbeli változására adhatunk becslést. A hullámozás hatására kialakuló függőleges gyorsulások miatt, nem lehet a mért, hidrodinamikai nyomásértékeket közvetlenül a vízszint becslésére felhasználni (mint ahogy azt tehetnénk hidrosztatikus állapotban). A nyomás adatsorok spektrumát ezért egy frekvenciától függő, kompenzációs tényezővel kell módosítanunk (Massel 1996). Tavi, illetve óceáni hullámozások esetén, tipikus, hogy hosszabb, akár több órás vagy napos időtartamra vonatkoznak egy vízszint ingadozás spektrumot, a hajók által keltett, időben gyorsan változó paraméterekkel jellemezhető hullámozások esetén azonban más megközelítés szükséges. Annak érdekében, hogy képt

kaphassunk a hullámzás intenzitásának időbeli változásáról is, a spektrumot rövidebb (~5-10 s) szakaszokra vonatkoztatva értelmezzük és annak időbeli változását spektrogramon vizsgáljuk (4.a ábra). Az egymást követő spektrum függvény geometriai paramétereire alapján, becslést adhatunk pl. a szignifikáns hullámmagasság (H_s) időbeli változására (4.b ábra).



4. ábra. a) Hajó keltette hullámesemény spektrogramja; b) felszínmozgás- és szignifikáns hullámmagasság idősor
Figure 4. a) Spectrogram of a ship induced wavetrain; b) free surface motion and significant wave height time series



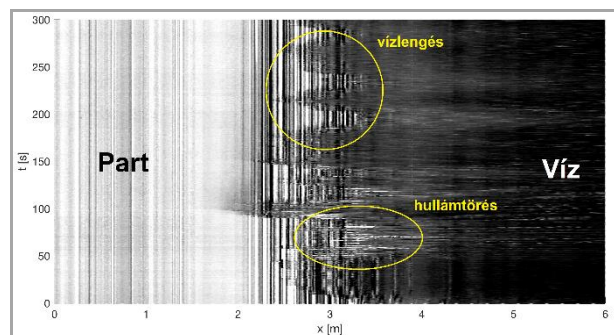
5. ábra. LSPIV-vel számolt felszíni áramlási sebességnagyságok
Figure 5. Surface velocity distributions calculated with LSPIV

A videófelvételek a fent bemutatottnál közvetlenebb információkat is tartalmaznak. Ha a szürkeárnyaltossá konvertált videófelvétel minden képkockájából csak egy a partvonalra merőleges metszetben értelmezzük a szürkeintenzitásokat, majd ezeket az egyeneseket az idő haladtának megfelelően sorba egymás után fűzzük, egy statikus képet kaphatunk az időben változó hullámeseményről (6. ábra).

A hullámesemény ilyen jellegű megjelenítésével számszerű becslést adhatunk a vízlengés periódusidejére, valamint arra is, hogy a leszívás hatására ideiglenesen mekkora élőhely területek kerülhetnek periodikusan szárazra. A képfeldolgozáson alapuló módszertannal továbbá a megtörő hullámok darabszáma is becslést adhatunk, mely mind parteróziós, mind ökológiai szempontból kiemelt fontosságú.

Videó alapú mérések

A part közelébe érkező és kifutó esetleg megtörő hullámokról készült videófelvételeknek önmagukban is nagy az információtartalmuk, azonban a megfelelő képfeldolgozási eljárások alkalmazásával számszerű adatok is kinyerhetővé válnak. Szemben a korábban bemutatott akusztikus sebességmérési eljárással, itt lehetőség van a szárazra kerülő zónák mérésére is, így az akusztikus módszerrel megfelelően kiegészítik egymást. A large-scale particle image velocimetry (LSPIV) nevű eljárással pl. a felszíni áramlási sebességek becslésére van lehetőségünk (Muste és társai 2008). A módszer lényege, hogy egy algoritmus detektál és követ bizonyos foltokat/mintázatokat egymást követő képkockákban, így azok elmozdulása, valamint a képkockák közti idő alapján lehetőség van az áramlási sebesség számszerűsítésére. A hajóhullámok esetén a követhető foltokat a hullámtörés következtében megjelenő hab jelenti. Ezzel a módszerrel tehát időben változó területi sebességeloszlások számítására van lehetőség (5. ábra).



6. ábra. Partvonalra merőleges fényképmetszet egymást követő időpillanatokban

Figure 6. Cross-shore time-stacked image

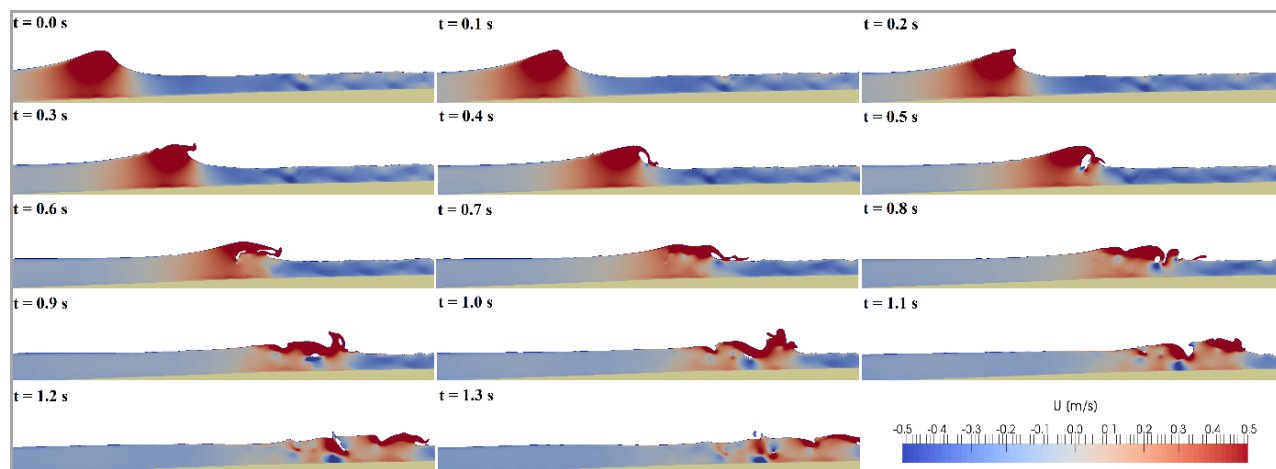
Numerikus modellezési módszertan

A számítógépes modellvizsgálatokat az ingyenes és nyílt forráskódú REEF3D (Bihs és társai 2016) modell-eszközzel végeztük. A modell az összenyomhatatlan

folymódokra érvényes folytonossági és a Reynolds-átlagolt Navier–Stokes egyenleteket oldja meg véges differencia módszerrel. A hullámzások numerikus vizsgálatánál az áramlási sebességek pontos reprodukálásán túlmenően kiemelt fontosságú a szabadfelszín helyzetének korrekt kezelése, mely jelen esetben az ún. level set method-dal (LSM) történik (Osher és társai 1988), mely az alkalmazott kétfázisú modell esetén alkalmas a víz és levegő fázisok közt kialakuló komplex szabadfelszín numerikus reprodukálására is.

A számítógépes modellhez szükséges digitális terepmódel a terepi mérések során végzett ultrahangos mélységmérések, illetve a sekély területeken végzett RTK-GPS mérések alapján került felépítésre. Az áramlási megoldó lehetőséget biztosít irreguláris hullámok bemeneti peremfeltételként való kezelésére, melyet a

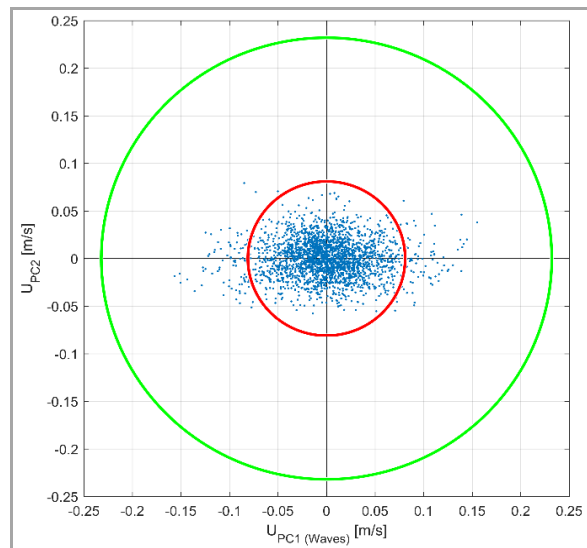
terepi mérések alapján számított vízfelszínmozgások spektruma alapján paramétereztünk fel. A modellben gerjesztett hullámzás hatására kialakuló áramlási sebességeket összevetve a mért sebességadatsorokkal megbizonyosodhatunk róla, hogy a modellünk kellő részletességgel és pontossággal leírja-e a valós körülményeket. A modell sikeres igazolását követően a modellező feljogosítva érezheti magát, hogy olyan állapotok vizsgálatát is elvégezze, melyre nem áll, vagy nem tud rendelkezésre állni adat, pl. egy tervezett folyószabályozás hatásvizsgálata. Hasonlóan, – a számítási kapacitás függvényében – olyan tér- és időléptékű vizsgálatok végzésére is lehetőségünk nyílik, melyek terepi, de akár laboratóriumi mérésére is kivitelezhetetlen lenne, pl. a hullámtörés jelenségének részletes áramlástani vizsgálata (7. ábra).



7. ábra. Hullámtörés számítógépes szimulációja; a víz a partirányú áramlási sebesség nagyság szerint került kifestésre
Figure 7. Numerical simulation of wave breaking; the water is colored based on the horizontal velocity component

AZ EREDMÉNYEK ÉLŐHELYHIDRAULIKAI ÉRTELMEZÉSE

A nagy időbeli felbontású ADV mérések feldolgozásának végeredményeként tehát előállítható az áramlási sebességekben megjelenő, hullámzáshoz köthető növekmények időszora. Ezen idősorok akár közvetlenül is összekapcsolhatók ökológiai paraméterekkel, például különböző halfajok, adott életszakaszra jellemző úszási- vagy megiramodási sebességeivel. Ha a kialakuló áramlási sebességek, hosszú időn keresztül meghaladják a hal úszási sebességeit, akkor egy idő után nem lesz képes ellenállni az áramlásnak és elsodródik. Kisodródhat akár a partra is, vagy olyan nagy háttéráramlási sebességű területekre, ahol túlélési esélye minimális. A halak úszási képessége laboratóriumi körülmények közt mérhető (Flore és Keckeis 1998), így közvetlenül össze is vethető a mért sebesség-idősorokkal. Példaként, a hivatkozott dolgozatban vizsgált és a tanulmányterületen is megtalálható halfajra, a paducra, annak két méretére (15 mm és 46 mm) kapcsoljuk össze a hullámzából adódó többlet áramlási sebességeket a halak megiramodási sebességével (8. ábra).



8. ábra. Hullámzáshoz köthető horizontális áramlási sebességek összevetése a 15 mm-es (piros kör) és 46 mm-es paduc (zöld kör) úszási képességével

Figure 8. Comparison of wave related horizontal velocities with the swimming performances of 15 mm (red circle) and 46 mm (green circle) nase

A fenti ábrán megfigyelhető, hogy a mérési pontban kialakuló áramlási sebességek a nagyobb, 46 mm-es paduc számára nem, azonban a kisebb ivadékok számára átmenetileg akár kritikussá is válhatnak.

Mind a terepi mérésekkel, mind a modellezési eszközökkel lehetőség van továbbá a mederfenék és a közvetlenül felette lévő vízréteg között kialakuló, ún. fenékcúsztatófeszültség számszerűsítésére, mely különböző bentikus makrogerinctelenek kapaszkodási képességeivel, valamint a halikrák mederanyagbeli stabilitásával hozható közvetlen kapcsolatba a fent bemutatottakhoz hasonlóan (Gabel 2008).

ÖSSZEGZÉS

Jelen tanulmány keretein belül bemutatásra került, hogy korszerű mérési és adatfeldolgozási eljárásokkal milyen tér- és időléptékben van lehetőségünk a hajók keltette hullámok hidrodinamikai hatásvizsgálatára a partközeli, litorális zónában. Az eljárások biztosítják, hogy a pusztán hullámszázhoz köthető áramlási sebességnövekmények, valamint különböző hullámparaméterek időbeli változását is nagy pontossággal számszerűsíthessük. A korszerű akusztikus műszereken túlmenően, felhívtuk a figyelmet különböző képfeldolgozáson alapuló adatfeldolgozási módszerekre, melyekkel egyszerű videófelvételekből van lehetőség fontos, a hullámszázhoz és annak ökológiai hatásához köthető változók becslésére. A bemutatott terepi eljárások kivétel nélkül támogatják a jelenségek számítógépes vizsgálatát is, melyekkel ki nem mért, vagy ki nem mérhető állapotok is részletesen vizsgálhatók válnak, így előre jelezhető például egy tervezett folyószabályozás hatása az áramlásokra, vagy éppen olyan részletek is görcső alá kerülhetnek, mint a megtörő hullámok dinamikája.

A hajóhullámok élőhelyhidraulikai vonatkozású kérdései és problémái tehát már realizálódtak a témát gondozó szakértőkben, azonban a különböző biotikus és abiotikus paraméterek összekapcsolása még nemzetközi szinten is csak kezdeti fázisban van. Cikkünk végén egy példát mutattunk arra, hogy milyen módon lehet vizsgálni egy adott halfaj úszási képessége és a hullámok hatására kialakuló többlet áramlási sebességek közötti kapcsolatot, vagyis, hogy miként van lehetőség vízmérnökök és biológusok számára jól ismert paraméterek összekapcsolására. Ezen túlmenően számos összekapcsolt vizsgálati lehetőség is megfogalmazásra került már, ami világossá teszi a kapcsolódó tudományterületek együttműködésének szükségességét, közös helyszíni mérések és laboratóriumi kísérletek formájában. Hosszútávon, a jövőbeli közös kutatások természetesen a hajók hatásán túlmenően ki kell, hogy terjedjenek minden a vizeket érintő antropogén és természetes hatások vizsgálatára is, hogy a lejártszódo folyamatokat, azok kölcsönhatását és következményeit a jelenlegi ismeretinknél mélyebben feltárhassuk.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A fenti eredményeket a TÁMOP-4.2.2.B-10/1–2010-0009 projekt támogatta. A cikk az Emberi Erőforrások Minisztériuma ÚNKP-17-3-I és ÚNKP-17-4-III kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának támogatásával készült.

IRODALOMJEGYZÉK

- Bihs H., Kamath A., Chella M.A., Aggarwal A., Arnsten Ø., A. (2016). A new level set numerical wave tank with improved density interpolation for complex wave hydrodynamics. *Computers and Fluids*, 140:191-208.
- Fleit G., Baranya S., Rütther N., Bihs H., Krámer T., Józsa J. (2016). Investigation of the Effects of Ship Induced Waves on the Littoral Zone with Field Measurements and CFD Modeling.
- Flore L., Keckeis H. (1998). The effect of water current on foraging behavior of the rheophilic cyprinid *Chondrostoma nausius* (L.) during ontogeny: evidence of a trade-off between energetic gain and swimming costs. *Regulated Rivers: Research and Management*, 14:141-154.
- Gabel F., Garcia X., Brauns M., Sukhodolov A., Leszinski M., Pusch M.T. (2008). Resistance to ship-induced waves of benthic invertebrates in various littoral habitats. *Freshwater Biology*, 53(8):1567-1578.
- Goring D.G., Nikora V.I. (2002). Despiking Acoustic Doppler Velocimeter Data. *Journal of Hydraulic Engineering*, 128(1):117-126.
- Jackivic T.P., Kuzminsk L.N. (1973). Effects of Interaction of Outboard Motors with Aquatic Environment – Review. *Environment Research*, 6:436-454.
- Kucera-Hirzinger V., Schludermann E., Zornig H., Weissenbacher A., Schabuss M., Schiemer F. (2008). Potential effects of navigation-induced wave wash on the early life history stages of riverine fish. *Aquatic Sciences*, 71:94-102.
- Liu X. D., Osher S., Chan T. (1994). Weighted essentially non-oscillatory schemes. *Journal of Computational Physics*, 115:200-212.
- Massel S.R. (1996). Ocean surface waves: their physics and prediction. *Advanced series on ocean engineering* (Vol. 11).
- Muste M., Fujita I., Hauet A. (2008). Large-Scale Particle Image Velocimetry for measurements in riverine environments. *Water Resources Research*, 44:W00D19.
- Nehring S. (2005). International shipping – A risk for aquatic biodiversity in Germany. *Neobiota*, 6:125-143.
- Schallenberg M., Burns C.W. (2004). Effects of sediment resuspension on phytoplankton production: Teasing apart the influences of light, nutrients and algal entrainment. *Freshwater Biology*, 49:143-159.
- Schludermann E., Liedermann M., Hoyer H., Tritthart M., Habersack H., Keckeis H. (2013). Effects of vessel-induced waves on the YOY-fish assemblage at two different habitat types in the main stem of a large river (Danube, Austria). *Hydrobiologia*, 729(19):3-15.

A SZERZŐK



FLEIT GÁBOR Építőmérnök BSc oklevelét 2015-ben, majd Infrastruktúra-építőmérnök MSc diplomáját 2017-ben szerezte a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen. Jelenleg az egyetem Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszékének doktorandusza. Tanulmányai során egy szemesztet a norvég NTNU egyetemen töltött. Kutatási tevékenységét alapképzéses hallgatóként kezdte, négy TDK dolgozat szerzője, kétszeres házi első díjas, egyszeres országos első díjas, valamint rektori különdíjban is részesült. Elnyerte a Köztársasági Ösztöndíjat, József Nádor díjat, Mosonyi Emil Ösztöndíjat, valamint mind mester, mint PhD hallgatóként az ÚNKP ösztöndíjat is. Doktori kutatásának témája a folyami élőhelyhidraulikai mérési és modellezési módszertanok fejlesztése. A Magyar Hidrológiai Társaságnak 2015-óta tagja, köszönhetően a Lászlóffy Woldemár diplomamunkapályázaton elért első helyezésének.

BARANYA SÁNDOR Építőmérnöki oklevelét a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen szerezte 2003-ban, PhD fokozatát ugyanitt 2010-ben. Jelenleg a BME Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszékének egyetemi docense. A BME mellett vendégkutatóként egy-egy évet töltött a norvégiai NTNU egyetemen (2011) és az egyesült államokbeli University of Iowa-n (2014). Kutatási területe folyók medermorfológiai, áramlástan és hordalékvándorlási vizsgálata terepi eljárásokkal és számítógépes modellezéssel. Elnyerte a Magyar Eötvös Ösztöndíjat, Korányi Ösztöndíjat, Bolyai János kutatási ösztöndíjat, a BME-n Rektori dicséretben, „TDK Munkáért” oktatói emléklapokért és Pro Progressio Oktatói TDK díjban részesült. A Magyar Hidrológiai Társaságnak 2003 óta tagja, 2015-ben Vitális Sándor szakirodalmi nivódíjban részesült.

JÓZSA JÁNOS Okleveles építőmérnök, professzor, az MTA levelező tagja, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem rektora. Kutatási területe a sekély felszíni vizek hidrodinamikája: határfelületi folyamatok, szél keltette tavi víz- és üledékmozgás mérése és numerikus modellezése, hullámterez vízfolyások áramlási, elkeveredési és hordalékvándorlási folyamatainak mérése és modellezése, ártéri elöntések modellezése. Az MHT tagja, a Hidrológiai Közlöny szerkesztőbizottságának tagja.

A Zagyva folyót érő szennyvízkibocsátások hatásának vízkémiai és ökotoxikológiai vizsgálata Jászfényszaru-tól Szolnokig

Fózer Melinda*, Cserháti Mátyás**, Teszárné Nagy Mariann*, Balázs Adrienn**, Risa Anita**, Berényi Ágnes*, Kriszt Balázs**

*Közép-Tisza vidéki Vízügyi Igazgatóság, 5000 Szolnok, Boldog Sándor István krt. 4.

**Szent István Egyetem, Környezetbiztonsági és Környezettoxikológiai Tanszék, Gödöllő

Kivonat

A Zagyva folyó kijelölt szakaszát terhelő szennyvizek hatását vizsgáltuk a 2015-2016-os évek szennyvízkibocsátási adatai alapján. A kibocsátott tisztított szennyvíz mennyiségi, minőségi, valamint a Zagyva folyó vízhozama és vízminősége alapján kiszámoltuk az egyes szennyvíztisztítók terhelését, majd a folyószakasz Víz Keretirányelv (VKI) biológiát támogató fizikai-kémiai minősítését végeztük el a KÖTIVIZIG mérési eredményei alapján. Vizsgálatainkat kiterjesztettük a legnagyobb beocsátóként üzemelő jászberényi szennyvíztisztító nyers és tisztított szennyvizére, valamint a folyó jászberényi szakaszán több mintavételi pontra, ahol ökotoxikológiai tesztekkel végeztünk. Eredményeink alapján a Zagyva folyó magas foszfor tartalma miatt „közepes” vízminőségi osztályba sorolható. A jászberényi szennyvíztisztító hatása a folyószakaszra ökotoxikológiai szempontból nem kifogásolható. Ezeket a vizsgálatokat érdemes a későbbiekben kiterjeszteni a többi szennyvíztisztítóra is, mivel a jászberényinél rosszabb tisztítási hatásokkal rendelkező szennyvíztisztítók is találhatók a folyószakaszon.

Kulcsszavak

Szennyvízbevezetés hatása felszíni vizekre, emissziós- és immissziós határérték.

Water chemical and ecotoxicological analysis of the effect of sewage emissions into the Zagyva River from Jászfényszaru to Szolnok

Abstract:

We investigated the effect of wastewater treatment load into the Zagyva Rivers designated section based on wastewater emission data in 2015-2016. We calculated some wastewater treatment plants loading based on the quantity and quality of the emitted purified sewage as well as Zagyva Rivers rate of flow and quality, then we carried out the Water Framework Directives (VKI) biology supportive physical-chemical qualification of the river section based on the measurement results of KÖTIVIZIG. We extended our investigations to operating the largest operating emitter Jászberény wastewater treatment plants raw and purified sewage together with section of the river at several sampling points at Jászberény, where we made ecotoxicological tests. Based on our results, the Zagyva River can be classified “medium” water quality class for high phosphorus content. The Jászberény wastewater treatment plants effect on the river section is not objectionable. Later, these tests worth extending to other wastewater treatment plants as well, as there are wastewater treatment plants in the river section whose cleaning efficiency is worse, than Jászberény wastewater treatment plants.

Keywords

Effects of sewage inputs on surface waters, emission limits, immission limits

BEVEZETÉS

Magyarország második Vízgyűjtőgazdálkodási Terve (2016) adatai alapján a vízfolyások adathiánya csökkenő, ugyanakkor a mérsékelt, vagy annál rosszabb minősítést kapó víztestek száma növekvő tendenciát mutat. Ennek oka a magas tápanyag tartalom, ami a pontszerű és diffúz szennyezésekkel jutnak vizeinkbe. A szennyvíztisztítók folyamatos kiépítésével a pontszerű szennyezések száma egyre növekszik.

A hazai szabályozás a VKI céljaihoz igazítva, létrehozta a 10/2010 (VII.18.) VM rendeletet, amely a felszíni vizekre, víztest típusonként határozza meg az immissziós határértékeket. Ezek elérését azonban megnehezíti, hogy a szennyvíztelepek kibocsátott tisztított szennyvizére vonatkozó emissziós határértékek (28/2004. (XII.25.) KvVM rendelet) nincsenek összhangban az immissziós határértékekkel, olykor túl engedékenyek. Emellett a kibocsátott tisztított szennyvizek a szerves és szerves mikroszennyezők forrásai is lehetnek, ezek vizsgálatára

azonban nem kötelezi a kommunális szennyvíztisztítókat a rendelet.

A megfelelő emissziós határértékek megállapításához nyújt segítséget a terhelhetőség számítás, amelynek útmutatója már megtalálható a második Vízgyűjtőgazdálkodási Tervben.

ANYAG ÉS MÓDSZER

A mintavétel ideje és helye

A Zagyva folyó hossz-szelvény vizsgálatát a KÖTIVIZIG Regionális Laboratóriuma 2015. januártól 2016. decemberéig végezte el. A szennyvízbevezetések alapján kijelölt mintavételi helyeken havi gyakorisággal történtek a mintavételek, vízhozam mérésekkel kiegészítve (1. táblázat). 2015. szeptembere és 2016. augusztusa között 5 alkalommal vett mintát a Környezetbiztonsági-és Környezettoxikológiai Tanszék a vizsgált folyószakasz legnagyobb kibocsátójaként üzemelő jászberényi szennyvíztisztító nyers és tisztított szennyvizéből, valamint két

alkalommal (2016. júniusban, augusztusban) az 1. táblázatban kiemelt mintavételi helyekről.

1. táblázat. Mintavételi helyek a Zagyva folyó hossz-szelvényében 2015-2016-ban
Table 1. Sampling points in Zagyva River's longitudinal section in 2015-2016

Minta kódja	Mintavétel helye
ZA/1	Zagyva folyó (92+480 fkm) Jászfényszarunál a szennyvíz bevezetés fölött
ZA/2	Zagyva folyó (92+380 fkm) a jászfényszarui szennyvíz bevezetésnél
ZA/3	Zagyva folyó (87+826 fkm) a Jászfényszaru-Szentlőrinc-közi közúti hídnál
ZA/4	Zagyva folyó (67+786 fkm) a jászberényi Városi hídnál
ZA/5	Zagyva folyó (58+000 fkm) a jászberényi Városi-Zagyva becsatlakozása fölött 800 m-rel
ZA/6	Zagyva folyó (54+337 fkm) Jászberény-Jásztelek közúti hídnál
ZA/7	Zagyva folyó (43+910 fkm) az alattyáni szennyvíz-bevezetés felett
ZA/8	Zagyva folyó (39+668 fkm) jánoshidai közúti hídnál
ZA/9	Zagyva folyó (25+315 fkm) a Szászberék-Újszász közúti hídnál
ZA/10	Zagyva folyó (01+929 fkm) Szolnok, torkolatnál

Mintavételi és vizsgálati módszerek

A KÖTIVIZIG által végzett mintavételek és a vizsgálati módszerek a hatályban lévő szabványok szerint történtek (MSZ EN ISO szabványok). A VKI szerinti biológiát támogató fizikai-kémiai jellemzőket vizsgáltuk: pH, fajlagos elektromos vezetőképesség, klorid-ion, oldott oxigén, biokémiai oxigénigény (BOI₅), kémiai oxigénigény (KOI_{ek}) ammónium-N, összes szerves-N, összes-N, oldott ortofoszfát-P, összes foszfor. Az 1. táblázatban kiemelt mintavételi pontokon akut *Daphnia magna* Straus és csíranövény tesztet végeztünk. További ökotoxikológiai vizsgálatokat végeztünk a Szent István Egyetem Tanszékén: *Aliivibrio fischeri* biolumineszcencia-gátlás tesztet (MSZ EN ISO szabvány), BLYES/BLYAS hormonhatást elemző tesztrendszert (a Tennessee Egyetem munkatársai által kifejlesztett módszer alapján), és SOS Chromo genotoxicitási tesztet a gyártó (Environmental Bio-Detection Products) útmutatása alapján.

EREDMÉNYEK

A Zagyva folyó vízjárása az elmúlt 15 év adatai alapján nagyon szélsőséges. A csapadékos téli és tavaszi hónapokban magas, míg a csapadékszegény nyári hónapokban alacsony vízállás jellemzi. Emiatt ugyanaz a mennyiségű és minőségű bevezetett tisztított szennyvíz más terhelést jelent a folyóra nézve különböző vízállások esetében.

A vizsgált két év a korábbiakhoz képest csapadékosabb volt, ezért a nyári hónapok alacsonyabb vízállása ellenére kisvíz nem alakult ki.

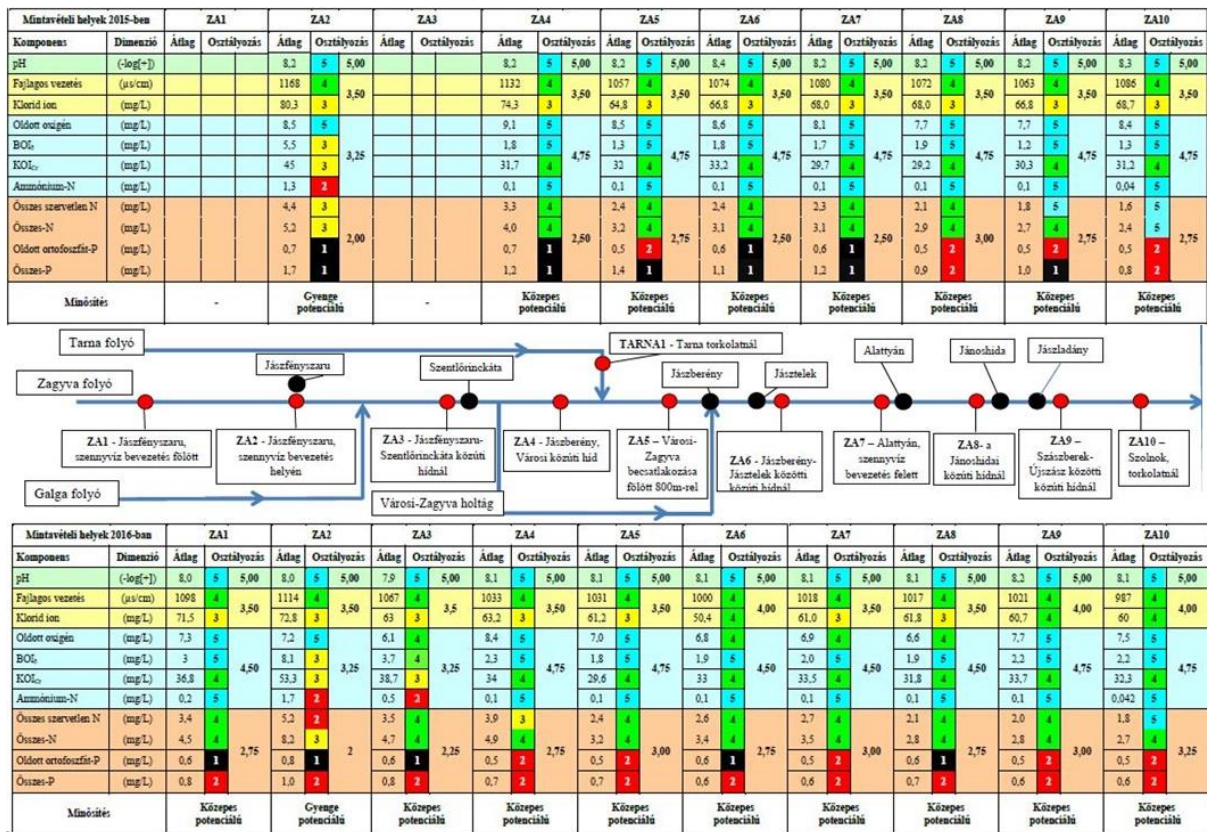
A Zagyva folyó felső szakasza (Jásztelek felett) "erősen módosított" víztest, ezért a minősítésnél "potenciált" határozunk meg, míg a folyó alsó szakasza a "természetes" víztest kategóriába sorolt (Jásztelektől Szolnokig), e miatt "állapotot" minősítünk.

A továbbiakban csak a májustól augusztusig tartó, - általában kisvízes - időszak mérési adatait mutatjuk be az 1. ábrán. Az ábra közepén látható a Zagyva folyó Jászfényszaru-tól Szolnokig tartó hossz-szelvénye, ahol fekete ponttal jelöltük a folyószakaszon üzemelő 7 szennyvíztisztító telep bevezetését, és pirossal az ezek alapján kijelölt 10 mintavételi helyet. A hossz-szelvény felett a 2015-ös, alatta a 2016-os Víz Keretirányelv szerinti biológiát támogató fizikai-kémiai paraméterek átlagai, és ezek alapján komponensenkénti, majd csoportonkénti minősítő táblázatok láthatóak. A végső minősítésnél a folyó adott mintavételi pontján a 4 komponens csoport közül a legrosszabb osztályozással rendelkező csoportot vettük figyelembe. Az ábra segítségével lehetővé válik, hogy a vízminőségi változásokat térben és időben egyaránt nyomon követhessük.

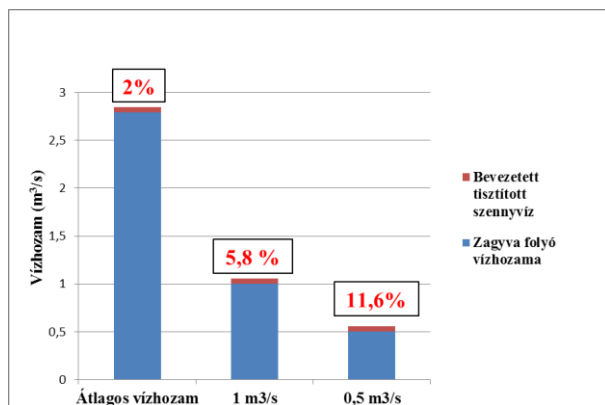
Az 1. ábrán jól látható, hogy a tápanyag komponens csoport kapta a leggyengébb osztályzatot, emiatt pedig a végső minősítés csak a „közepes” állapotú/potenciálú besorolást éri el a legtöbb mintavételi ponton. A csoporton belül az oldott ortofoszfát-foszfor és az összes foszfor magas koncentrációi okozzák a legnagyobb problémát. 2016-ban a magasabb vízhozamnak köszönhetően a 2015-ös évhez képest minimális hígulást tapasztaltunk, azonban ez sem volt elég ahhoz, hogy a víztest elérje a „jó” állapot/potenciált.

A legnagyobb terhelést a felújítandó jászfényszarui szennyvíztisztító jelentette mindkét évben. Az egyedüli mintavételi pont, ami a „gyenge” potenciálú besorolásba tartozik. A másik jelentős terhelést a legnagyobb kibocsátóként üzemelő, felújított jászberényi szennyvíztisztító jelenti. Mindkét telep esetében látszik az ábrán, hogy a bevezetésük után magasabb koncentrációkat mértünk a folyóban, majd néhány km után azok csökkenése tapasztalható. Mivel a viszonylag rövid folyószakaszon sok szennyvíztisztító üzemel, a terhelhetőség számítás egyre jelentősebbé válik. A folyószakasz közepén, vagy a végén üzemelő szennyvíztisztítók már nem engedhetnének be olyan minőségű tisztított szennyvizet, mint a felette lévő telepek, mivel a folyó így sem éri el a „jó” állapot/potenciált.

A 2. ábrán a jászberényi szennyvíztisztító példáján mutatjuk be, hogy mekkora jelentősége van a folyó vízhozam változásának. Ugyanaz a mennyiségű tisztított szennyvíz sokkal nagyobb százalékát teszi ki a folyónak 0,5 m³/s és az 1 m³/s-os vízhozamnál, mint egy átlagos (2,79 m³/s) vízhozamnál, ezáltal sokkal nagyobb terhelést is jelent.



1. ábra. Vízminőség alakulása a Zagyva folyó hossz-szelvényében 2015-2016. májustól augusztusig tartó időszakban
Figure 1. Water quality changes in the Zagyva river's longitudinal section in 2015-2016 from May to August



2. ábra. A Zagyva folyó vízhozama és a jászberényi szennyvíztisztító tisztított szennyvizének aránya
Figure 2. Zagyva Rivers rate of flow and purified sewage from the Jászberény wastewater treatment ratio

A folyó hossz-szelvényén végzett méréseink, valamint a jászberényi szennyvíztisztító önellenőrzési terv eredményei alapján lehetőségünk volt elvégezni a terhelhetőség számítását (Clement 2010).

$$C_0 = \frac{C_h Q + C_{sz} q}{Q + q}$$

ahol

C_0 – szennyvíz bevezetés utáni koncentráció a befogadóban (g/m^3)

C_h – a befogadó háttér koncentrációja (g/m^3) a szennyvíz bevezetés előtt

Q – a befogadó átlagos vízhozama (m^3/sec) a szennyvíz bevezetés előtt

C_{sz} – a bevezetett szennyvíz koncentrációja (g/m^3)
 q – a szennyvíz mennyisége – éves átlag (m^3/nap)

Ha a képletbe a szennyvíz bevezetés utáni koncentrációnak (C_0) az immissziós határértéket írjuk be, kiszámolhatjuk, hogy milyen emissziós határértéket kellene kiszabni a szennyvíztisztító, ha tartani szeretnénk az immissziós értékeket. Mivel a Zagyva folyónál nagy jelentősége van a vízhozamnak, a 2. táblázatban kiszámoltuk egy átlagos (2016-os év) és egy kisvíz idején mért vízhozam értékkel a terhelhetőséget, majd összehasonlítottuk a szennyvíztisztító vonatkozó emissziós határértékeket, és az általunk kiszámolt, új határértékeket a következő komponensekre: a kémiai oxigén igény (KOI_{Cr}), a biokémiai oxigén igény (BOI_5), az összes nitrogén (öN), összes foszfor (öP).

A 2. táblázatban látható, hogy 3 vízminőségi jellemzőnél (kémiai oxigénigény – KOI_{Cr} , biokémiai oxigénigény – BOI_5 , és összes nitrogén – öN) a folyó háttér koncentrációja még nem érte el az immissziós határértéket, ezért a folyó ezen szakasza még terhelhető a koncentráció növekmény mennyiségével. A vízhozam függvényében kiszámolt új emissziós értékeket összehasonlítva a meglévő emissziós határértékekkel, látható, hogy a KOI_{Cr} és a BOI_5 határértékek 2,79 m^3/s -os vízhozam esetén növelhetőek, míg a 0,5 m^3/s -os vízhozamnál a KOI_{Cr} határértékét csökkenteni kellene. Az összes foszfornál már a háttér koncentráció is többszöröse az immissziós határértéknek, ezért már egyáltalán nincs lehetőség a folyó további terhelésére. A szennyvíztisztító egyik vízhozam esetében sem bocsáthatna ki szennyvizet az összes foszfor nagy mennyisége miatt.

2. táblázat. A jászberényi szennyvíztisztítóra kiszámolt új emissziós határértékek a vízhozam függvényében

Table 2. New emission limits calculated for the Jászberény wastewater treatment as a function of water discharge

	mg/L	Ch	IM	ΔC	EM ₁	Zagyva folyó vízhozama	
						2,79 m ³ /s	0,5 m ³ /s
KOICr		30,8	40	-9,2	125	483	119,3
BOI ₅		1,9	5	-3,1	25	154	31,7
öN		3,3	5	-1,7	15	8,6	19,6
öP		0,8	0,2	+0,6	2	-	-

Ch – a befogadó háttér koncentrációja (mg/L) a szennyvíz bevezetés fölött.

IM – a víztípusra vonatkozóan meghatározott immissziós határérték (mg/L).

ΔC – az a koncentráció növekmény, amellyel még terhelhető a víztest a torkolati szelvényéig (mg/L).

EM₁ – a 28/2004 (XII. 25.) KvVM rendelet szerinti emissziós határérték (mg/L).

EM₂ – a 10/2010 (VIII. 18.) VM rendelet immissziós határértékeinek betartásával, a szennyvíz bebocsátók számára előírandó új emissziós határérték (mg/L) – amely már figyelembe veszi a hígulási arányokat 2,79 m³/s-os vízhozamnál.

EM₃ – a 10/2010 (VIII. 18.) VM rendelet immissziós határértékeinek betartásával, a szennyvíz bebocsátók számára előírandó új emissziós határérték (mg/L) – amely már figyelembe veszi a hígulási arányokat 0,5 m³/s vízhozamnál.

A jászberényi szennyvíztisztító tisztított szennyvíz mennyisége a folyó vízhozamához képest elenyésző, csupán 0,058 m³/s. A terhelhetőség vizsgálat szerint azonban a kisvízes időszakban ennek a bevezetett mennyiségnek is van jelentősége.

Mivel a hossz-szelvényen a legnagyobb kibocsátó a jászberényi szennyvíztisztító, amely a vizsgálataink előtt esett át egy felújításon, további ökotoxikológiai tesztek végeztünk. A nyers és tisztított szennyvízben egyik esetben sem volt kimutatható, genotoxikus és androgén hatású szennyező anyag. A nyers szennyvízben minden alkalommal citotoxikus és egy esetben ösztrogén hatású szennyező anyag volt kimutatható, de a tisztított szennyvízben már egyik sem volt jelen.

A Zagyva folyó jászberényi szennyvízbevezetés feletti mintavételi pontjain, és az alatta elhelyezkedő ponton sem volt citotoxikus, genotoxikus és hormon hatású szennyező anyag kimutatható, valamint a *Daphnia magna* Straus akut toxicitási teszt és a csíranövény teszt sem utalt toxikus anyag jelenlétére. Annak ellenére, hogy a folyó a VKI szerint csak „közepes” állapotú/potenciálú minősítést ért el, méréseink alapján a szennyvíztisztító az elvégzett ökotoxikológiai tesztekkel vizsgált mikroszennyezők tekintetében a folyóra nincs kedvezőtlen hatással.

KÖVETKEZTETÉSEK

A Zagyva folyó vizsgált szakaszán a viszonylag sűrűn elhelyezkedő szennyvíztisztítók mérési eredményeik alapján elmondható, hogy gyakran a rájuk vonatkozó emissziós határértékek többszörösét bocsátják ki a befogadóba. A felújításra váró jászfényszaru telep üzemel a legrosszabb hatásfokkal. A jászberényi szennyvíztisztító a kiépített új rendszer üzemelésével jobb hatásfokot tudott elérni. Az összes P eltávolítása azonban továbbra is problémát jelent minden szennyvíztisztítónak.

Az 1. ábrán bemutatott vizsgálati eredményeink minősítése alapján elmondható, hogy a víztest „közepes” állapotú/potenciálú minősítésének oka az, hogy a szennyvíztisztítók nagy koncentrációban bocsátják ki a különböző foszfor formákat tartalmazó szennyvizeket az eleve terhelt befogadóként szolgáló Zagyva folyóba. Ennek következtében nem tud létrejönni a megfelelő hígulás, kisvízes időszakban pedig tovább nő a foszfor formák koncentrációja.

Minden szennyvíztisztító emissziós határértékeit újra kellene vizsgálni a teljes hossz-szelvényben a terhelhetőség számítás segítségével ahhoz, hogy a megfelelő határértékeket tudja megállapítani a hatóság. Csak így érhetőek el a folyóra vonatkozó immissziós határértékek, és a folyó „jó” állapota/potenciálja.

A szennyvíztisztítók szigorúbb hatósági ellenőrzésére lenne szükség, hogy ösztönözzük a megfelelő működésre, a technológia maximális kihasználására, különösen odafigyelve a foszforeltávolításra. Ez azonban nem valósulhat meg, amíg a szennyvíztisztítókat csak az önellenőrzési terv kötelezi.

A jászberényi szennyvíztisztító nyers és tisztított szennyvizéből, valamint a Zagyva folyó ezen szakaszán végzett ökotoxikológiai vizsgálataink alapján a kibocsátott tisztított szennyvíz nincs kedvezőtlen hatással a befogadóra. Az új technológiával rendelkező telep mellett számos olyan szennyvíztisztító üzemel, melyek tisztítási hatásfoka jelentősen rosszabb. A továbbiakban a tisztított szennyvizeken szükséges lenne elvégezni ökotoxikológiai tesztek is, hogy információt kaphassunk olyan szerves és szervetlen mikroszennyezők jelenlétéről és hatásáról, amelyet a szennyvíztisztítók bocsátanak ki felszíni vizeinkbe.

IRODALOM

10/2010 (VIII. 18.) VM rendelet a felszíni víz vízzennyezettségi határértékeiről és azok alkalmazásának szabályairól. Budapest, 1-8.

28/2004 (XII. 25.) KvM rendelet a vízzennyező anyagok kibocsátásaira vonatkozó határértékekről és alkalmazásuk egyes szabályairól. Budapest, p. 1-45.

Clement A. (2010). Felszíni vizek minősége és terhelhetősége: a vízminőség-szabályozás új feltételrendszere a VKI tükrében. MHT XXVIII. Országos Vándorgyűlés, elektronikus Konferencia kiadvány.

A SZERZŐK

FŐZER MELINDA Msc diplomáját a Szent István Egyetem ökotoxikológus szakán szerezte 2016-ban. Jelenleg a Közép-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóságon biológusként dolgozik. *e-mail: fozer.melinda@kotivizig.hu*

TESZÁRNÉ NAGY MARIANN PhD. A Közép-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóság regionális laboratóriumvezetője. A Debreceni Egyetem, Természettudományi és Technológiai Kar, Biológiai és Ökológiai Intézet, Alkalmazott Hidrobiológiai Kihelyezett Tanszék címzetes egyetemi docense. Kutatási területe: hidrobiológia, mikrobiológia, biomonitorozás, EU VKI gyakorlati alkalmazása, felszíni víztestek terhelhetőségi vizsgálata. *e-mail: tmariann@kotivizig.hu*

BERÉNYI ÁGNES 2010-ben környezetkutatóként végzett a Debreceni Egyetem Természettudományi és Technológiai Kar nap-pali tagozatán. Jelenleg biológusként vezeti a KÖTIVIZIG Regionális Laboratórium Kiskörei telephelyét. Kutatási területe: hidrobiológia, ill. makrofita vizsgálatok. *e-mail: berenyi.agnes@kotivizig.hu*

CSERHÁTI MÁTYÁS PhD, Szent István Egyetem, Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar, Akvakultúra és Környezetbiztonsági Intézet, Környezetbiztonsági és Környezettoxikológiai Tanszékének egyetemi adjunktusa. Kutatási területe: mikrobiológia, ökotoxikológia, mikotoxinok. *e-mail: cserhati.matyas@mkk.szie.hu*

BALÁZS ADRIENN predoktor, Szent István Egyetem, Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar, Akvakultúra és Környezetbiztonsági Intézet, Környezetbiztonsági és Környezettoxikológiai Tanszék, egyetemi adjunktus. Kutatási területe: mikrobiológia, ökotoxikológia. *e-mail: balazs.adrienn@mkk.szie.hu*

RISA ANITA PhD hallgató, Szent István Egyetem, Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar, Akvakultúra és Környezetbiztonsági Intézet, Környezetbiztonsági és Környezettoxikológiai Tanszék, egyetemi adjunktus. Kutatási terület: mikrobiológia, mikotoxinok. *e-mail: risa.anita@mkk.szie.hu*

KRISZT BALÁZS PhD, Szent István Egyetem, Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar, Akvakultúra és Környezetbiztonsági Intézet igazgatója, a Környezetbiztonsági és Környezettoxikológiai Tanszék egyetemi docense. Kutatási területe: mikrobiológia, környezetvédelmi kármentesítések. *e-mail: kriszt.balazs@mkk.szie.hu*

Denzitásfüggő kölcsönhatások hínárnövények között

Koleszár Gergő*, Csizmár Aliz**, Nagy Zoltán**, Szabó Sándor**

* Eszterházy Károly Egyetem, Természettudományi kar, H3300 Eger, Eszterházy tér 1.

** Nyíregyházi Egyetem, Környezettudományi Intézet, H4400 Nyíregyháza, Sóstói u 31/B.

Kivonat

Az úszó emerz és a szubmerz hínár egyaránt képes stabil dominanciájú állományokat létrehozni. A közöttük folyó verseny kimenetelét azonban a növények denzitása jelentősen befolyásolhatja. Választ kerestünk arra a kérdésre, hogy hogyan befolyásolják a különböző denzitás-értékek a szubmerz és úszó emerz hínarak kultúráiban a közöttük levő kölcsönhatások minőségét és erősségét. A púpos békalencse (*Lemna gibba*) és érdes tócsagaz (*Ceratophyllum demersum*), növények 2 literes, félig átfolyó rendszerű akváriumokban különböző denzitáson lettek tenyésztve. A kísérlet során a tenyészedenyekben a kísérleti növények biomassa-változásait mértük.

Az alacsony Lemna-denzitás (250 g m⁻²) stimulálta a tócsagaz növekedését. A tócsagaz alacsony Lemna-denzitáson gátolta legintenzívebben a békalencsék hozamát, a békalencse-denzitás emelkedésével viszont békalencsékre gyakorolt gátló hatása fokozatosan gyengült. A Lemna-denzitás növelésével a tócsagaz hozama folyamatosan csökkent. A tócsagaz teljesen kipusztult azokban a kultúrákban, amelyekben a kiindulási békalencse-denzitás elérte a 40g/tenyészedeny (2000g m⁻²)- szintet. Eredményeink bizonyítják, hogy a *Ceratophyllum*-kontrollkultúrákon a perifita algák hínárnövényekre gyakorolt gátló hatása (árnyékolás, tápelemfelvétel) erősebb lehetett, mint a békalencsék tócsagazra gyakorolt gátló hatása. Eredményeink alapján úgy tűnik, hogy a szubmerz nem gyökerező növények békalencsékkel történő kölcsönhatásainak kimenetele jelentősen denzitásfüggő.

Kulcsszavak

Emerz növényzet, szubmerz növényzet, *Lemna*, *Ceratophyllum*, kompetíció, kölcsönhatások, denzitás.

Density dependent interactions between aquatic plants

Abstract

Both the floating emergent and the submerged rootless macrophytes can form stable dominance. However, the competitive outcomes between them may be strongly influenced by the density of the plants. In the present study we searched the impact of plant density on the interaction between floating emergent and the submerged macrophytes. Duckweed (*Lemna gibba*) and hornwort (*Ceratophyllum demersum*) were cultivated in semi static aquaria under wide range of plant densities (2000g m⁻²) for 20 days and the initial and final biomass of the plants were measured. Low Lemna-density (250 g m⁻²) stimulated the growth of hornwort. *Ceratophyllum* strongly reduced the growth of Lemna under low Lemna densities. With increasing Lemna density the inhibiting effect of *Ceratophyllum* continuously weakened. With increasing Lemna density the yield of *Ceratophyllum* decreased and the highest Lemna density (2000g m⁻²) resulted the complete decay of *Ceratophyllum*. Results showed that the interactions between submerged rootless and floating emergent macrophytes are strongly density dependent.

Keywords

Emergent vegetation, submerged vegetation, *Lemna*, *Ceratophyllum*, competition, interaction, density.

BEVEZETÉS

A fény- és tápelemviszonyok döntően meghatározzák a vízinövények növekedését és elterjedését sekély tavainkban. Az eutrofizáció következtében azonban egy adott víztestben mind a fény-, mind pedig a tápelemviszonyok megváltoznak, ami bizonyos szervezetek számára kedvező hatású, mások számára pedig ártalmas. Az intenzív tápelemterhelés egyik lehetséges következménye, hogy a víztest ún. turbid állapotba kerül, ahol az elsődleges termelőket dominánsan a fitoplankton képviseli (Scheffer és Nes 2007). Ezzel szemben a szélnek kevésbé kitett hullámszemes kistavakban és csatornáknál a magas tápelemterhelés hatására az úszó emerz növényzet stabil dominanciája is létrejöhethet (Scheffer és társai 2003, Smith 2014). A sekélyebb vízmélység esetén alacsonyabb tápelemterhelésen viszont a körülmények már alkalmasak arra is, hogy a szubmerz növények stabil dominanciájú állományai borítsák a területet (Zuidam és Peeters 2013). Így megállapíthatjuk, hogy a szubmerz makrofitonok fényviszonyait nemcsak a szomszédos növények árnyékoló hatása befolyásolja, hanem a planktonikus és a perifiton

algák, továbbá az úszó emerz növények esetleges jelenléte is (Lu és társai 2013, Larson 2007, Tóth 2013).

A gyökerező szubmerz hínarakon kívül a nem gyökerező szubmerz társaik is fontos szerepet játszanak a vízi ökoszisztémákban. Közülük az érdes tócsagaz (*Ceratophyllum demersum*) nemcsak hazánkban, hanem világszerte rendkívül versenyképes. Gyorsan alkot sűrű állományokat sekély vizű tavakban és csatornáknál, különösen magas tápelem-koncentrációjú vizekben (Lombardo és Cooke 2003). Eutróf kisvizekben és csatornáknál sűrű hínárszőnyeget alakít ki, és gyakran együtt él a békalencse hínár tagjaival is. Egy korábbi tanulmány már vizsgálta a békalencse és a tócsagaz kölcsönhatásainak alakulását egy tápelemgrádiens mentén. Fény derült arra, hogy adott koncentráció-tartományban az érdes tócsagaz-hínár a gyökerező vízinövényekhez hasonlóan képes meggátolni, hogy az úszó vízi- növényzet (békalencsék) stabil dominanciája kialakuljon (Nagy és társai 2015). Sikert mutatni azt is, hogy hipertróf körülmények között a tócsagaz és a békalencse közötti verseny kimeneteléhez a szubmerz hínárál-

lomáyon élő perifiton algák is jelentősen hozzájárulnak (Koleszár és társai 2017).

A két növénycsoport között folyó verseny kimenetelét azonban a fenti tényezőkön (tápelem-koncentráció, perifiton algák) túl a hínárnövények denzitáserkékei és biomassza-arányai is jelentősen befolyásolják, mivel ezek a paraméterek döntő szerepet játszanak a víz fényviszonyainak és tápelem-koncentrációjának alakulásában, és emiatt meghatározzák a kölcsönhatások minőségét és intenzitását. Jelen vizsgálatainkban választ kerestünk arra a kérdésre, hogy a szubmerz és úszó emerz hínarak kultúráiban a különböző denzitáserkékek hogyan befolyásolják a köztük levő kölcsönhatások minőségét és erősségét.

ANYAG ÉS MÓDSZER

A vizsgálatokhoz szükséges púpos békalencsét (*Lemna gibba*) és érdes tócsagazt (*Ceratophyllum demersum*) Nyíregyháza mellett, az Igrice csatornából, az aprólevelű átokhínárt (*Elodea nuttallii*) pedig Hajdúnánás mellett a Keleti Főcsatornából gyűjtöttünk. növényeket Barko és Smart (1985) által kidolgozott tápoldaton tartottuk, majd NH_4NO_3 és K_2HPO_4 törzsoldatok hozzáadásával a kísérlet megkezdéséig a megadott N- és P-koncentráción preinkubáltuk. A tápoldat mikroelem tartalmát Tropica oldattal (10.000-szeres hígítás) biztosítottuk. A növények nevelése $220 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ megvilágításon, 16/8 óra fotoperióduson, 25°C hőmérsékleten történt. A hínárnövények ko-kultúrái a kísérletek alatt 2 literes akváriumokban tenyészték, melyek tápoldatait az akváriumban elhelyezett PVC csövön keresztül hetente kétszer 1 liter friss tápoldattal helyettesítettük.



1. fénykép. Tócsagaz-békalencse interakciók vizsgálata széles denzitás tartományban a kísérlet kezdetén

Photo 1. *Ceratophyllum-Lemna* co-cultures with wide range of density at the initial day of the experiment

Békalencse denzitás hatása a tócsagazra

A kísérletünk célja volt, hogy megmérjük, hogy milyen hatást gyakorol a különböző denzitású békalencse takaró a tócsagaz növekedésére. A tócsagaz (*C. demersum*) kiindulási biomasszája 10 g volt. A kultúrák tenyészedényeibe 0, 5, 20g biomasszájú púpos békalencsét helyeztünk. A ko-kultúrákat teljes faktoriális elrendezés alapján két féle tápelemkoncentráción (2 mgN L^{-1} , 1 mgP L^{-1} ; 10 mgN L^{-1} , 2 mgP L^{-1}) neveltük 20 napon keresztül. A kísérlet alatt három alkalommal mértük a tápoldat pH értékét és oldott oxigén koncentrációját. A kísérlet végén

a kultúrákat learattuk, megmértük a növények nedves és száraz tömegét. A kísérlet végén a tócsagazt tartalmazó akváriumokban az akvárium és a hínárnövények felületéről ecsettel a perifiton algákat óvatosan a tápoldatba mostuk. A tápoldatot redős szűrőpapíron (pórusátmérő $5-8 \mu\text{m}$) szűrtük, majd 105°C -on történő szárítás után mértük az algák biomasszáját.

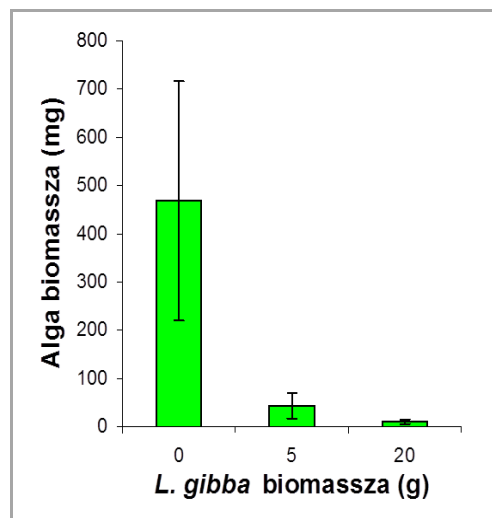
Tócsagaz-békalencse interakciók széles denzitás tartományban

A kísérletet a korábbi kísérletnél szélesebb békalencse-tócsagaz denzitás tartományban is elvégeztük. A tenyészedényekben itt már 0, 10 és 20 és 40 g nedves tömegű *Ceratophyllum* hajtást helyeztünk, majd a vízfelszín 0, 1, 5, 20, és 40 g biomasszájú békalencsével takartuk (1. kép). A *Lemna-Ceratophyllum* ko-kultúrákat teljes faktoriális elrendezés alapján azonos nitrogén- és foszforkoncentrációval (5 mgN L^{-1} , 1 mgP L^{-1}) neveltük 20 napon keresztül. A kísérlet alatt három alkalommal mértük a tápoldat pH értékét és oldott oxigén koncentrációját. A kísérlet végén a kultúrákat learattuk, megmértük a növények nedves és száraz tömegét.

EREDMÉNYEK ÉS KÖVETKEZTETÉSEK

Békalencse denzitás hatása a tócsagazra

A békalencsétől mentes kontrollkultúrákban a növények felületén algásodás alakult ki. Ezekben a tenyészedényekben mért algabiomassza értékek szignifikánsan ($P < 0,001$, Pairwise Comparison) nagyobbak voltak, mint amit a békalencse kezelésnek kitett tócsagaz ko-kultúrákban mértünk (1. ábra).

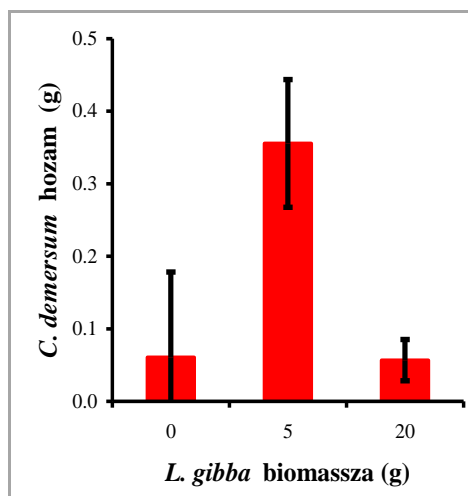


1. ábra. A *Lemna*-denzitás hatása a *Ceratophyllum* kultúrák algabiomassza-értékeire (10 mgN L^{-1} , 2 mgP L^{-1}). A hibásávok az eredmények szórásai, $n=3$.

Figure 1. Impact of *Lemna* density on the algal biomass in *Ceratophyllum* culture (10 mgN L^{-1} , 2 mgP L^{-1}). Error bars represent the standard deviation, $n=3$

A békalencse denzitásának (ANOVA $P < 0,001$) és a tápoldat nitrogénkoncentrációjának (ANOVA $P = 0,035$) szignifikáns hatása volt a tócsagaz növekedésére (biomassza, növekedési ráta). A *Ceratophyllum* a legnagyobb növekedési rátát 5g kiindulási *Lemna* biomassza kezelés alatt mutatta, mely szignifikánsan magasabb volt ($P < 0,000$, Tukey HSD) nem csak a kontrollkultúráétól, hanem a legnagyobb *Lemna* denzitású kultúráétól is.

Viszont 20g kiindulási *Lemna* denzitáson a tócsagaz növekedése nem különbözött szignifikánsan a 0g *Lemna* denzitású kontroll kultúrától (2. ábra).



2. ábra. A békalencse denzitás hatása a tócsagaz hozamára. A hibasávok az eredmények szórásai, n=3

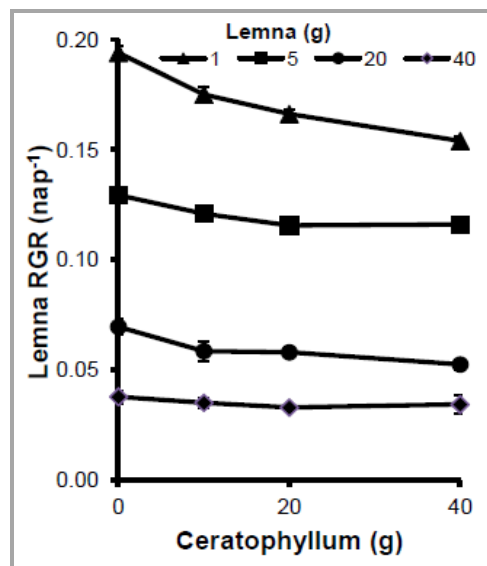
Figure 2. Impact of *Lemna* density on the yield of *Ceratophyllum* cultures. Error bars represent the standard deviation, n=3

Tócsagaz-békalencse interakciók széles denzitás tartományban

A békalencse denzitás emelésével a békalencse növekedési rátája drasztikusan csökkent (3. ábra). A tócsagaz alacsony *Lemna* denzitáson (1-5 g/tenyésztedény) gátolta legintenzívebben a békalencsék növekedését (RGR). A *Lemna* denzitás emelkedésével a tócsagaz békalencsére gyakorolt gátlóhatása fokozatosan gyengült (3. ábra).

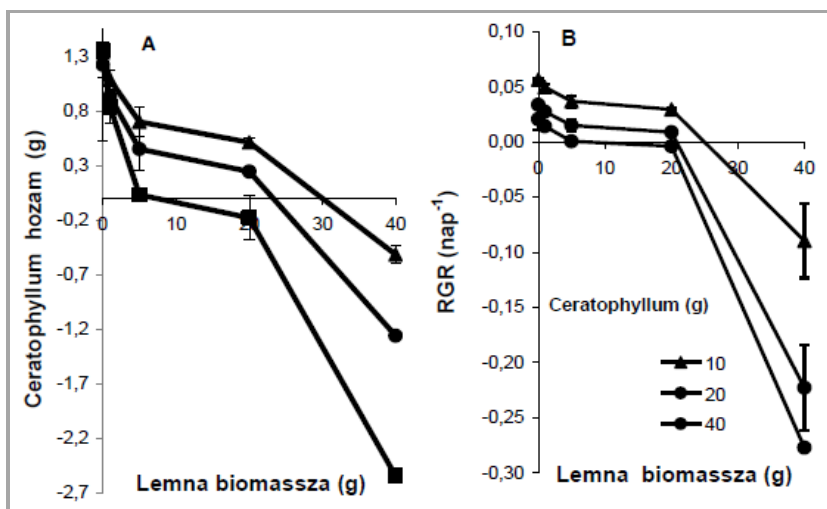
Mind a békalencse- mind pedig a tócsagaz denzitásnak szignifikáns ($P < 0,000$, ANOVA) hatása volt

a tócsagaz hozamára és növekedési rátájára. A legnagyobb hozam és növekedési ráta alacsony (10g) kiindulási tócsagaz denzitáson volt tapasztalható (4. ábra). A *Lemna* denzitás növelésével a tócsagaz hozama szignifikánsan ($P < 0,01-0,001$, PC) csökkent. 20g denzitás felett azonban a növények hozama már negatív értékre csapott át: kiindulási biomasszájuk 80-95%-kal csökkent. Minél több volt a tócsagaz kiindulási biomasszája, annál nagyobb arányban pusztult el a tenyésztedényben (5. ábra).



3. ábra. A *Lemna*-denzitás hatása a békalencse növekedési rátájára (RGR) különböző *Lemna* (bal) és tócsagaz (jobb) denzitáson. A hibasávok az eredmények szórásai, n=3

Figure 3. Impact of *Ceratophyllum* density on relative growth rates (RGR) of *Lemna* cultures. Error bars represent the standard deviation, n=3



4. ábra. A békalencse denzitás hatása a tócsagaz hozamára (A) és növekedési rátájára (B). A ko-kultúrák különböző *Lemna* és *Ceratophyllum* denzitáson tenyészték. A hibasávok az eredmények szórásai, n=3

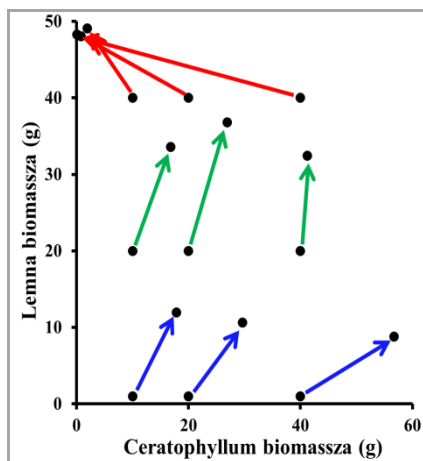
Figure 4. Impact of *Lemna* density on yield (A) and relative growth rates (RGR) (B) of *Lemna* cultures.

Error bars represent the standard deviation, n=3

Alacsony *Lemna* denzitáson a tócsagaznak maximális növekedési lehetősége volt. A békalencse denzitás növelésével a biomassza változás egyre csökkent, majd 40g kiindulási *Lemna* denzitáson már negatív értékre csapott át (5. ábra). Magas tápelem-koncentráción, a létrejött vastag békalencse-takaró alatti fényszegény környezetben

idővel a perifiton és planktonikus algák elpusztulnak. Meglepő eredmény volt, hogy a békalencsék alacsony *Lemna*-denzitáson (5 g biomassza) 2-10 mg N l⁻¹ koncentráció-tartományban jelentősen fokozták a tócsagaz növekedését. Ennek az lehetett a legnyilvánvalóbb magyarázata, hogy tápelemfelvételükkel és enyhe árnyékoló

hatásukkal fékeztek a perifiton és planktonikus algák gyors elszaporodását a tócsagaz felületén és a tápoldatban (Roijacker és társai 2004). Eredményünk azt is bizonyítja, hogy a *Ceratophyllum* kontrollkultúrákon a perifiton algák hínárnövényekre gyakorolt gátló hatása (árnyékolás, tápelemfelvétel) erősebb volt, mint a békalencsék tócsagazra gyakorolt gátló hatása. Ebből látható, hogy az úszó emerz növények alacsonyabb denzitási értékeken (250 g m^{-2}) stimulálják a szubmerz növényeket, míg magasabb denzitás (1.000 g m^{-2}) felett már gátolják. Eredményeinkből következtetésként levonható, hogy a szubmerz növények békalencsékkel történő kölcsönhatásainak eredményei jelentősen denzitásfüggőek.



5. ábra. Biomasszaváltozások a *Lemna*-*Ceratophyllum* kultúrákban. A nyilak a kísérlet kezdeti és végső biomasszáértékeinek átlagát jelölik, $n=3$

Figure 5. Change of biomass in *Lemna*-*Ceratophyllum* co-cultures. Arrows show the mean of the initial and mean of the final biomass of the macrophytes

ÖSSZEFOGLALÁS

Az úszó emerz és a szubmerz hínár egyaránt képes stabil dominanciájú állományokat létrehozni. A közöttük folyó verseny kimenetelét a hínárnövények denzitása jelentősen befolyásolhatja. Választ kerestünk arra a kérdésre, hogy hogyan befolyásolják a különböző denzitás-értékek a szubmerz és úszó emerz hínarak kultúráiban a köztük levő kölcsönhatások minőségét és erősségét.

A púpos békalencse (*Lemna gibba*) és érdes tócsagaz (*Ceratophyllum demersum*), illetve az aprólevelű átokhínár (*Elodea nuttallii*) növények 2 literes, félig átfolyó rendszerű akváriumokban különböző denzitáson lettek tenyésztve. A kísérlet során a tenyészedenyekben a kísérleti növények biomassza-változásait mértük.

Bármelyik vizsgált *Lemna*-biomassza denzitásának hatására az *Elodea* hozama szignifikánsan csökkent, ugyanakkor viszont az alacsony *Lemna*-denzitás (250 g m^{-2}) stimulálta a tócsagaz növekedését. A békalencsék a maximális hozamot 5 g/tenyészedeny (250 g m^{-2}) denzitás értéken mutatták. A tócsagaz alacsony *Lemna*-denzitáson gátolta legintenzívebben a békalencsék hozamát, a békalencse-denitász emelkedésével viszont békalencsékre gyakorolt gátló hatása fokozatosan gyengült. A *Lemna*-denitász növelésével a tócsagaz hozama, folyamatosan csökkent viszont a tócsagaz denitásának növelésé-

vel folyamatosan emelkedett mindaddig, amíg a *Lemna*-denitász $40 \text{ g/tenyészedeny}$ alatti volt.

A tócsagaz teljesen kipusztult azokban a kultúrákban, amelyekben a kiindulási békalencse-denitász elérte a $40 \text{ g/tenyészedeny}$ (2.000 g m^{-2})- szintet. Eredményeink bizonyítják, hogy a *Ceratophyllum*-kontrollkultúrákon a perifita algák hínárnövényekre gyakorolt gátló hatása (árnyékolás, tápelemfelvétel) erősebb lehetett, mint a békalencsék tócsagazra gyakorolt gátló hatása. Eredményeink alapján úgy tűnik, hogy a szubmerz növények békalencsékkel történő kölcsönhatásainak eredményei jelentősen denzitásfüggőek.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönet az Emberi Erőforrások Minisztériumának, amely a kutatáshoz szükséges anyagi támogatást biztosította az Új Nemzeti Kiválóság Program keretén belül: „Az Emberi Erőforrások Minisztériuma ÚNKP-17-2-I-NYE-2 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának támogatásával készült”.

IRODALOM

- Barko J.W., Smart R. M. (1985). Laboratory culture of submerged freshwater macrophytes on natural sediments. *Aquatic Botany*, **21**, 251-263.
- Koleszár, G., Nagy, Z., Vicei, T., Szabó, S. (2017). Hogyan befolyásolják az epifitikus algák a hínárnövények kompetícióját? *Hidrológiai Közlöny* **97**, 5-8.
- Larson, D. (2007). Growth of three submerged plants below different densities of *Nymphaea peltata* (S. G. Gmel.) Kuntze. *Aquatic Botany*, **86**, 280-284.
- Lombardo, P., Cooke, D. (2003). *Ceratophyllum demersum* phosphorus interactions in nutrient enriched aquaria. *Hydrobiologia*, 497, 79-90, 2003.
- Lu, J., Wang, Z., Xing, W., Liu, G. (2013). Effects of substrate and shading on the growth of two submerged macrophytes. *Hydrobiologia*, **700**, 157-167.
- Nagy Z., Lengyel A., Vicei T T, Csabai J, Szabó S (2015). Ki mikor győz a békalencse tócsagaz versenyben? *Hidrológiai Közlöny*, **95**, (5-6) 64-67.
- Scheffer M. (1998). *Ecology of Shallow Lakes*. Chapman and Hall. London.
- Scheffer M., Szabó S., Gragnani A., Van Ness E.H., Rinaldi S., Kautsky N., Norberg J., Roijackers R.M.M., Franken R. (2003). Floating plant dominance as a stable state. *Proceedings of the National Academy of Science of the USA*, **100**, 4040-4045.
- Scheffer, M., van Ness, E.H. (2007). Shallow lakes theory revisited: various alternative regimes driven by climate, nutrients, depth and lake size. *Hydrobiologia*, **584**, 455-466.
- Smith, S. D. D. (2014). The role of nitrogen and phosphorus in regulating the dominance of floating and submerged aquatic plants in field mesocosm experiment. *Aquatic Botany*, **112**, 1-9.
- Szabó S., Roijackers R.M.M., Scheffer M. (2003). A simple method for analysing the effects of algae on the growth of *Lemna* and preventing the algal growth

in duckweed bioassays. *Archiv für Hydrobiologie*, **157**, 567-575.

Szabó S., Scheffer, M., Roijackers, R., Waluto, B., Braun, M., Nagy, P., Borics, G. and Zambrano, L. (2010). Strong growth limitation of a floating plant (*Lemna gibba*) by submerged macrophyte (*Elodea nuttallii*) under laboratory conditions. *Freshwater Biology*, **55**, 681-690

Tóth, V. R. (2013). The effect of periphyton on the light environment and production of *Potamogeton perfoliatus* L. in the mesotrophic basin of Lake Balaton. *Aquatic Sciences*, **75**, 523-534.

Zuidam, J. P., Peeters, E. T. H. M. (2013). Occurrence of macrophyte monocultures in drainage ditches relates to phosphorus in both sediment and water. *Springer-Plus*, **2**, 564.

A SZERZŐK



KOLESZÁR GERGŐ Tanulmányait a Nyíregyházi Egyetem Biológia BSC szakán 2016-ben fejezte be, jelenleg MSC hallgató az Eszterházy Károly Egyetem biológia-testnevelés szakán. Kutatási témája a vízi makrofítonok és algák közötti interakciók. Vizsgálataiban arra keresi a választ, hogy hogyan befolyásolják a perifíton algák a hínárnövények közötti kompetíció kimenetelét.

CSIZMÁR ALIZ Tanulmányait a Nyíregyházi Egyetem Biológia BSC szakán 2017-ben fejezte be. Jelenleg a Szent István Egyetem környezetmérnök szakán MSC hallgató. Kutatásaiban arra keresi a választ, hogy a hínárnövények különböző denzitásértékei, hogyan befolyásolják a makrofítonok között fellépő kompetíció kimenetelét.

NAGY ZOLTÁN A Debreceni Egyetemen szerezte biológia szakos középiskolai tanári diplomáját, majd a DE Juhász Nagy Pál Doktori Iskola PHD hallgatója lett. 2015-ig a Nyíregyházi Egyetem Tuzson János Botanikus kertvezető helyettese volt. Kutatásaiban kísérleti módszerekkel arra keresi a választ, hogy milyen folyamatok okozzák, hogy a vízinövények közötti versenyben egyik növénycsoport akár teljesen kiszorítja a másikat. Vizsgálja a perifíton szerepét a hínárnövények közötti interakciókban.

SZABÓ SÁNDOR PhD. A Nyíregyházi Egyetem Környezettudományi Intézetének oktatója. Kutatásaiban kísérleti módszerekkel arra keresi a választ, hogy milyen folyamatok okozzák, hogy a vízinövények közötti versenyben egyik növénycsoport akár teljesen kiszorítja a másikat. A vizsgálatokat kontrolált fény és hőmérséklet viszonyok között végezi úszó emerz és szubmerz hínárnövényeken.

Kovaalga fajok trait- és guild-alapú vizsgálatának szerepe kis szikes tavak ökológiai állapotfelmérésben

Körmendi Kitti*, Lengyel Edina**, Stenger-Kovács Csilla*

* Pannon Egyetem, 8200 Veszprém, Egyetem u. 10.

** MTA-PE Limnológiai Kutatócsoport, 8200 Veszprém, Egyetem u. 10.

Kivonat

Az utóbbi években számos tanulmány látott napvilágot a kovaalga fajok jelleg- és guild-alapú vizsgálatának alkalmazhatóságáról, mivel ez a fajta megközelítés lehetővé teszi a vizes élőhelyek ökológiai állapotának gyors, informatív és költséghatékony elemzését. A hazai kis szikes tavak ilyen irányú tanulmányozásáról hasonló munka ez idáig nem született. A Kárpát-medence 33 szikes tavából származó 190 mintát elemeztünk. Az alábbi jellegeket és kovaalga ökológiai guildeket használtuk az elemzés során: planktonikus, mozgó, alacsony és magas profilú kovaalga ökológiai guild; sejttérfogó (5 kategória [S1-S5], $0 < 100 < 300 < 600 < 1500 \mu\text{m}^3$), és a sejtek hossz-szélesség aránya (6 kategória [LW1-LW6], $0 < 2 < 4 < 6 < 12 < 20$). A jellegek és guilds NMDS analízise alapján 7 csoportot tudtunk elkülöníteni: Gr1 (planktonikus guild), Gr2 (LW1 fajok), Gr3 (LW6 fajok), Gr4 (magas profilú guild + LW5), Gr5 (S4 fajok), Gr6 (alacsony profilú guild) és Gr7 (mozgó guild + LW2 + LW3 + LW4 + S1 + S2 + S3 + S6). A Gr7 csoport a magasabb hidrogén-karbonát, vezetőképesség és pH értékeket indikálta, így jól alkalmazható a szikes tavak jó ökológiai állapotának jelzésére.

Kulcsszavak

Kovaalga, szikes tó, ökológiai guild, funkcionális jelleg

The role of the trait- and guild-based investigation of diatom species in the ecological status assessment of soda pans

Abstract

Numerous studies have been published about the trait- and guild-based examination of diatom communities in recent years. These methods make it possible to analyse the ecological status of aquatic habitats in a fast, informative and cost-effective way. Despite the increasing spread of the trait-based approaches, such studies concerning soda pans are absent. In the Carpathian basin 190 samples from 33 soda pans were analysed. The following traits and guilds were applied: planktonic guild, low and high profile guild, motile guild; the biovolume of the cells ($S1 < 100 \mu\text{m}^3 < S2 < 300 \mu\text{m}^3 < S3 < 600 \mu\text{m}^3 < S4 < 1500 \mu\text{m}^3 < S5$) and the length-width (L/W) ratio of the cells ($LW1 < 2 < LW2 < 4 < LW3 < 6 < LW4 < 12 < LW5 < 20 < LW6$). Based on the NMDS analysis of the traits and guilds we could distinguish 7 groups: Gr1 (planktonic guild), Gr2 (LW1 species), Gr3 (LW6 species), Gr4 (high profile guild + LW5), Gr5 (S4 species), Gr6 (low profile guild) and Gr7 (motile guild + LW2 + LW3 + LW4 + S1 + S2 + S3 + S6). The species in Gr7 preferred the higher values of hydrogen carbonate, conductivity and pH, which are characteristic for the pristine status of the pans, while the presence of the other groups had a negative correlation with these variables.

Keywords

Diatom, soda pan, functional traits, ecological guilds

BEVEZETÉS

Az 1996. évi LIII. törvény a természet védelméről (wwwI) értelmében „a szikes tó olyan természetes vagy természetközeli vizes élőhely, melynek medrét tartósan vagy időszakosan legalább 600 mg/l nátrium kation dominanciájú oldott ásványi anyag tartalmú felszíni víz borítja, valamint sajátos sziki életközösséggel rendelkezik”. Ezekkel a speciális vizes élőhelyekkel a Föld összes kontinensén találkozhatunk (Williams 2005). Mivel nagyon sekélyek, vizük hőmérséklete az időjárásnak megfelelően, gyorsan változik (Boros és társai 2017), ezáltal a klímaváltozás hatásaira rendkívül érzékenyek (Williams 2002).

A funkcionális jellegek (traitek) definíció szerint olyan morfológiai, biokémiai, fiziológiai, szerkezeti, fenológiai vagy viselkedésszerű tulajdonságok, melyek az egyedi élőlények fenotípusában fejeződnek ki és jellemzőek az adott organizmus környezetére adott válaszára és/vagy az ökoszisztéma tulajdonságaira gyakorolt hatásaira (Violle és társai 2007). Simberloff és Dayan (1991) meghatározása alapján a guild fajok

egy olyan csoportja, mely azonos forrásokat (általában) hasonló módon hasznosít.

Az elmúlt években már viszonylag sok publikáció látott napvilágot a funkcionális jellegek és/vagy ökológiai guilds kovaalga ökológiában való alkalmazhatóságáról (Passy 2006, Berthon és társai 2011, Lange és társai 2011, Gottschalk és Kahlert 2012, Larson és Passy 2012, Rimet és Bouchez 2012, Stenger-Kovács és társai 2013, B-Béres és társai 2017). Ennek ellenére hasonló munka a szikes tavak diatómáiról még nem született.

Kutatásunk célja a Kárpát-medencei kis szikes tavak kovaalga összetételének vizsgálata alapján egy olyan jelleg- és guild-alapú módszer kidolgozása volt, mellyel a tavak legfontosabb fizikai és kémiai paramétereit indikálhatók.

ANYAG ÉS MÓDSZER

A Kárpát-medence területén található 2 régió (Fertő-Hanság és Duna-Tisza köze) 33 kis szikes tavának iszapjáról és/vagy vízi növényzetéről 2006 és 2015 között gyűjtött 190 darab mintát vizsgáltunk (a mintavételek

idejéről, gyakoriságáról, valamint a tavak általános fizikai és kémiai paramétereiről az alábbi publikáció ad részletes tájékoztatást: *Stenger-Kovács és társai 2014*). A begyűjtött mintákat a helyszínen etil-alkohollal tartósítottuk, majd forró hidrogén-peroxidos módszerrel preparáltuk azokat. Az elkészült preparátumokat fénymikroszkóppal (Zeiss Imager A1), PLAN Apochromat 100x 1.4/∞ Oil Dic lenssel, 1000x-es nagyításon, immerziós olaj segítségével vizsgáltuk. Véletlenszerűen kiválasztott 400 darab valvát számoltunk és határoztunk meg a következő határozókötetek segítségével: *Krammer és Lange-Bertalot (1991, 1997, 1999a, 1999b)*, *Lange-Bertalot (2013)*, *Krammer (2000-2013)*, *Bey és Ector (2013)*, *Stenger-Kovács és Lengyel (2015)*.

A terepen a víz hőmérsékletét, pH-ját, vezetőképességét, oldott oxigéntartalmát, és oxigéntelítettségét mértük meg HQd 40 Field Case hordozható készülékkel. A laboratóriumi elemzések során az alábbi paraméterek mennyi-

ségét határoztuk meg: karbonát-, hidrogénkarbonát-, klorid-, szulfátion, kémiai oxigénigény (KOI), nitrogén- és foszforformák, oldható reaktív szilícium (SRSi).

R programcsomag (*Ihaka és Gentleman 1996*) segítségével nem-metrikus többdimenziós skálázást (NMDS), redundancia analízist (RDA), illetve varianciaanalízist (ANOVA) és *post hoc* TukeyHSD-tesztet végeztünk az adatsorunkon. Az NMDS segítségével a jellemző tulajdonságok egymástól való távolságát vizualizáltuk, míg az RDA a jellegeket és guildeket tartalmazó csoportok eloszlását leginkább meghatározó fizikai és kémiai paraméterek felderítésére szolgált. ANOVA-t és TukeyHSD-tesztet alkalmaztunk a hossz/szélesség arány 6 kategóriájának elkülönítésére, mivel a varianciaanalízis három vagy több csoport átlagainak elkülönítésére kitűnően alkalmas (*Diez és társai 2017*). A vizsgálat során alkalmazott guildeket és jellegeket az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat. A vizsgálat során alkalmazott kovaalga ökológiai csoportok és jellegek
Table 1. The diatom ecological guilds and traits applied in the study

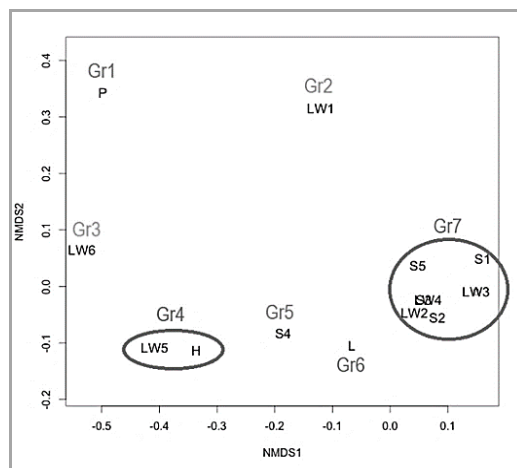
KOVAALGA ÖKOLÓGIAI GUILD	JELLEGEK	
	Sejttérfogat (<i>Rimet és Bouchez, 2012</i>)	Hossz-szélesség (L/W) arány
(Passy, 2006; Rimet & Bouchez, 2012)		
alacsony profilú	S1 < 100 μm^3	LW1 < 2
magas profilú	S2 100-300 μm^3	LW2 2-4
mozgó	S3 300-600 μm^3	LW3 4-6
planktonikus	S4 600-1500 μm^3	LW4 6-12
	S5 1500 μm^3 <	LW5 12-20
		LW6 20 <

EREDMÉNYEK

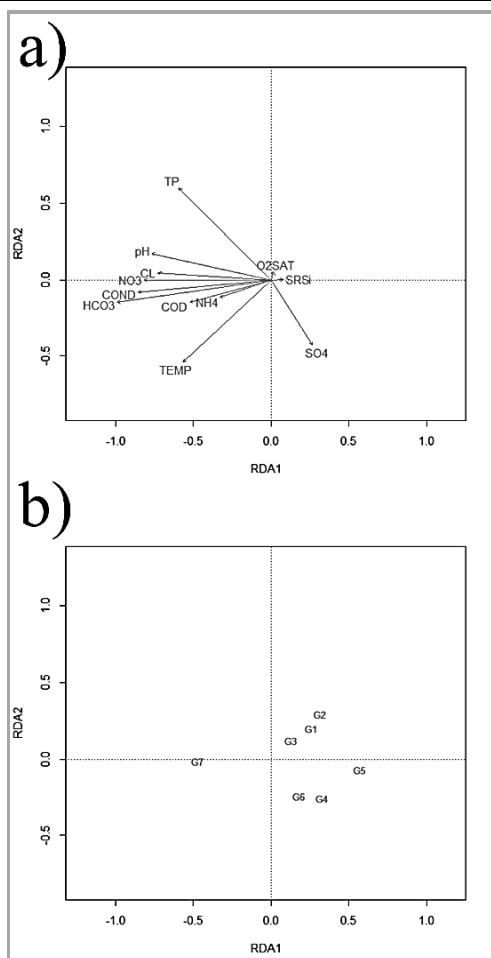
A megvizsgált 190 darab bevonatmintából 64 nemzetséget és 283 fajt azonosítottunk. 56 kovaalga faj volt domináns, melyek többsége a *Nitzschia* nemzetséghez tartozott.

A kiválasztott jellegek és guildek NMDS analízise (1. ábra) alapján 7 csoportot tudtunk elkülöníteni: Gr1 (planktonikus guild), Gr2 (kerekded valvájú fajok), Gr3 (hosszú, vékony valvájú fajok), Gr4 (magas profilú guildbe tartozó, hosszúkás valvájú fajok), Gr5 (600-1500 μm^3 sejttérfogatú fajok), Gr6 (alacsony profilú guild) és Gr7 (mozgó guildbe tartozó, lándzsa/levél alakú valvával rendelkező, < 600 μm^3 vagy 1500 μm^3 < sejttérfogatú fajok).

Az RDA alapján a csoportok eloszlását meghatározó szignifikáns paraméterek (2/a. ábra) az alábbiak voltak (csökkenő sorrendben, $p < 0,001$): hidrogénkarbonát-ion tartalom ($r^2=0,22$), vezetőképesség ($r^2=0,16$), összfoszfor-tartalom ($r^2=0,16$), nitrát-ion tartalom ($r^2=0,15$), pH ($r^2=0,14$), vízhőmérséklet ($r^2=0,14$). A Gr7 csoportba tartozó fajok a szikes tavak természetes állapotára jellemző magasabb hidrogénkarbonát-ion tartalmat, vezetőképességet és pH-t preferálták (2/b. ábra).



1. ábra. Az NMDS analízis alapján kapott 7 csoport
(Megjegyzések: Gr1: planktonikus guild; Gr2: kerekded valvájú fajok; Gr3: hosszú, vékony valvájú fajok; Gr4: magas profilú guildbe tartozó, hosszúkás valvájú fajok; Gr5: 600-1500 μm^3 sejttérfogatú fajok; Gr6: alacsony profilú guild; Gr7: mozgó guildbe tartozó, lándzsa/levél alakú valvával rendelkező, 0-600 μm^3 vagy 1500 μm^3 < sejttérfogatú fajok)
Figure 1. The seven groups obtained through NMDS analysis
(Notes: Gr1: planktonic guild; Gr2: species with roundish valves; Gr3: species with long, thin valves; Gr4: species belonging to the high profile guild with longish valves; Gr5: species with a biovolume between 600 and 1500 μm^3 ; Gr6: low profile guild; Gr7: species belonging to the mottle guild with lance-leaf-shaped valves and with a biovolume between 0 and 600 μm^3 or larger than 1500 μm^3)



2/a. ábra. A fizikai és kémiai paraméterek és a kovaalga jellegek alapján elvégzett redundancia analízis (Megjegyzés: HCO₃: hidrogénkarbonát-ion, CL: klorid-ion, NO₃: nitrát-ion, COND: vezetőképesség, TP: összes foszfor, COD: kémiai oxigénigény, TEMP: víz hőmérséklet, NH₄: ammónium-ion, O₂SAT: oxigén-telítettség, SO₄: szulfát-ion, SRSi: oldható reaktív szilícium)

2/b. ábra. Az NMDS alapján kapott 7 csoport redundancia analízise

Figure 2/a. The redundancy analysis performed concerning the physical and chemical parameters and the diatom traits (Notes: HCO₃: bicarbonate ion, CL: chloride ion, NO₃: nitrate ion, COND: conductivity, TP: total phosphorus content, COD: chemical oxygen demand, TEMP: water temperature, NH₄: ammonium ion, O₂SAT: oxygen saturation, SO₄: sulphate ion, SRSi: soluble reactive silicon)

ÉRTÉKELÉS

Kis szikes tavakban a *Nitzschia* nemzetség dominanciája jellemző (Stenger-Kovács és társai 2014). A mozgó guildbe tartoznak ezek a fajok (Passy 2006), így mozgásképeségüknek (Kutka és Richards 1996) és árnyéktűrő-süknek köszönhetően kompetitív előnnyel rendelkeznek a többi kovaalga fajjal szemben a szikes tavakban uralkodó extrém környezeti viszonyok között (Stenger-Kovács és társai 2014).

A redundancia analízis alapján a hidrogénkarbonát-ion tartalom és a vezetőképesség voltak a legfontosabb vízkémiai paraméterek, melyek az egyes csoportokra hatást gyakoroltak. A vezetőképességet, mint mesterváltozót, már számos tanulmány alátámasztotta (pl. Battarbee és társai 2001, Stenger-Kovács és társai 2014). A fontossá-

gi sorrendben az összes foszfor- és nitrát-tartalom voltak a következő meghatározó környezeti paraméterek, mivel a felszíni vizek algaközösségei számára a nitrogén és a foszfor a fő limitáló tápanyagok (Padisák 2005). Az RDA szerint a pH-tartalom és a víz hőmérséklet voltak az utolsók a szignifikáns vízkémiai változók között. Habár a pH a fajösszetételt jelentősen befolyásoló paraméter (Gasse 1986), hiszen a tápanyagok felvehetőségét jelentősen befolyásolja (Sondergaard és társai 1990), Blinn (1993) szerint az alkalikus vizek diatómái kevésbé érzékenyek a pH változásaira, mint a savas-semleges tavak fajai. A víz hőmérséklet fontossága azzal magyarázható, hogy alapvető hatással van számos más fizikai és kémiai paraméterre (pl. pH-tartalom, tápanyagok körforgása; Battarbee 2000). A Gr7 csoport, vagyis a mozgó guildbe tartozó, lándzsa/levél alakú valvával rendelkező, 600 µm³ alatti, vagy 1500 µm³-nél nagyobb sejttér-fogatú fajok pozitív korrelációt mutattak a hidrogénkarbonát-ion tartalommal, vezetőképességgel és pH-val, így ez a csoport alkalmas a szikes tavak természetes állapotának indikálására. A többi csoport esetében negatív összefüggést tapasztaltunk ezekkel a vízkémiai változókkal szemben, ezáltal ezeknek a csoportoknak a jelenléte a tavak természetes állapotától való negatív irányú eltérést indikálják.

2. táblázat. Más ökoszisztémák kovaalga ökológiai guildjeinek pH-tartalomra és vezetőképességre adott válaszainak összehasonlítása a kis szikes tavak diatóma guildjeinek válaszaival (vez.kép. = vezetőképesség)

Table 2: The responses of diatom ecological guilds to other ecosystems to pH and conductivity compared to the responses of diatom guilds of soda pans

	Svéd tavak (Gottschalk & Kahlert, 2012)	Síkvidéki vízfolyások (B-Béres et al., 2017)	Kis szikes tavak	
	pH	pH	vez.kép	pH
alacsony profilú guild	(+)	(-)	(-)	(-)
magas profilú guild	(-)	(+)	(-)	(-)
mozgó guild	(-)		(+)	(+)
planktonikus guild		(+)	(-)	(-)

Gottschalk és Kahlert (2012) svéd tavakkal foglalkozó tanulmányában a mozgó és magas profilú guild negatív korrelációt mutatott a pH-val szemben, míg az alacsony profilú guild fajai pozitívak. Egy magyar síkvidéki vízfolyásokat érintő vizsgálatban (B-Béres és társai 2017) a planktonikus guild algái pozitívan reagáltak a pH növekedésére, míg a vezetőképesség emelkedésére az alacsony profilú guild negatívan, a magas profilú guild pedig pozitívan válaszolt. Ezzel szemben a szikes tavak diatóma guildjei közül egyedül a mozgó guild mutatott pozitív korrelációt a pH-val és vezetőképességgel, míg a többi guild negatívan reagált ezekre (2. táblázat). Ezen különbségek oka lehet, hogy a kis szikes tavak sós, erősen lúgos közegében (pH=9-10) az egyes guildek más választ adnak ennek a két igen fontos környezeti háttérváltozó megváltozására, mint más, savas vagy semleges pH-val rendelkező, alacsonyabb vezetőképességű víztestekben.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Szeretnénk köszönetet mondani Szabó Beátának és Vass Máténak az NMDS analízis elvégzésében nyújtott segítségükért. Köszönjük a Pannon Egyetem Limnológia Intézeti Tanszék összes munkatársának, hogy részt vettek a vízkémiai mérések elvégzésében. Köszönet az EFOP-3.6.1-16-2016-00015 és az OTKA K81599 projekt anyagi támogatásáért. A kutatás az Emberi Erőforrások Minisztériuma ÚNKP-17-2-I-PE-3 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság programjának támogatásával készült.

IRODALOM

Battarbee R. W. (2000). Palaeolimnological approaches to climate change, with special regard to the biological record. *Quaternary Science Reviews* 19: 197–124.

Battarbee R. W., Jones V. J., Flower R. J., Cameron N. G., Bennion H., Carvalho L. & Juggins S. (2001). Diatoms. In Smol J. P., Birks H. J. B., Last W. M. (ed.): *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments. Volume 3: Terrestrial, Algal, and Siliceous Indicators*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. 155–202.

B-Béres V., Török P., Kókai Zs., Lukács Á., T-Krasznai E., Tóthmérész B., Bácsi I. (2017). Ecological background of diatom functional groups: Comparability of classification systems. *Ecological Indicators* 82: 183–188.

Berthon V., Bouchez A., Rimet F. (2011). Using diatom life-forms and ecological guilds to assess organic pollution and trophic level in rivers: a case study of rivers in south-eastern France. *Hydrobiologia* 673: 259–271.

Bey M.-Y. & Ector L. (2013). *Atlas des diatomées des cours d'eau de la région Rhône-Alpes. Tome 1-6. Direction régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement Rhône-Alpes, Lyon. 1182 + 27 pp.*

Blinn D. W. (1993). Diatom Community Structure Along Physicochemical Gradients in Saline Lakes. *Ecology* 74(4): 1246–1263.

Boros E., V-Balogh K., Vörös L., Horváth Zs. (2017). Multiple extreme environmental conditions of intermittent soda pans in the Carpathian Basin (Central Europe). *Limnologica - Ecology and Management of Inland Waters* 62: 38–46.

Diez D. M., Barr C. D., Cetinkaya-Rundel M. (2017). *OpenIntro Statistics* (3rd ed.). 436 pp.

Gasse F. (1986). East African diatoms: taxonomy, ecological distribution. Cramer, Stuttgart. 201 pp.

Gottschalk S., Kahlert M. (2012). Shifts in taxonomical and guild composition of littoral diatom assemblages along environmental gradients. *Hydrobiologia* 694: 41–56.

Ihaka R., Gentleman R. (1996). R: A Language for Data Analysis and Graphics. *Journal of Computational and Graphical Statistics* 5/3: 299–314.

Krammer K., Lange-Bertalot H. (1991, 1997, 1999 a, b). Bacillariophyceae 1-4. Teil. In Pascher, A. (ed.): *Süßwasserflora von Mitteleuropa. Band 2/1-4*. Gustav Fischer Verlag, Heidelberg, Berlin.

Krammer K. (2000–2013). Diatoms of the European Inland Waters and Comparable Habitats (ed. Lange-Bertalot, H.). Volumes 1-7. Gantner Verlag, Ruggell, Liechtenstein.

Kutka F. J. & Richards C. (1996). Relating diatom assemblage structure to stream habitat quality. *Journal of the North American Benthological Society* 15: 469–480.

Lange K., Liess A., Piggott J. J., Townsend C. R., Matthaei C. D. (2011). Light, nutrients and grazing interact to determine stream diatom community composition and functional group structure. *Freshwater Biology* 56: 264–278.

Lange-Bertalot H. (ed., 2013). *Diatomeen im Süßwasser-Benthos von Mitteleuropa. 2. korrigierte Auflage*. Koeltz Scientific Books, Königstein. 908 pp.

Larson C. A. & Passy S. I. (2012). Taxonomic and functional composition of the algal benthos exhibits similar successional trends in response to nutrient supply and current velocity. *FEMS Microbiology Ecology* 80(2): 352–362.

Padisák J. (2005) Általános limnológia. ELTE Eötvös Kiadó, Budapest. 310 pp.

Passy S. I. (2006). Diatom ecological guilds display distinct and predictable behavior along nutrient and disturbance gradients in running waters. *Aquatic Botany* 86: 171–178.

Rimet F., Bouchez A. (2012). Life-forms, cell-sizes and ecological guilds of diatoms in European rivers. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems* 406(1): 1–12.

Simberloff D., Dayan T. (1991). The Guild Concept and the Structure of Ecological Communities. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 22: 115–143.

Sondergaard M. E., Jeppesen P., Kristensen P., Sortkjaer O. (1990). Interactions between sediment and water in a shallow and hypertrophic lake: a study on phytoplankton collapses in Lake Søbygard, Denmark. *Hydrobiologia* 191: 139–148.

Stenger-Kovács C., Lengyel E., Crossetti L. O., Üveges V., Padisák J. (2013). Diatom ecological guilds as indicators of temporally changing stressors and disturbances in the small Torna-stream, Hungary. *Ecological Indicators* 24: 138–147.

Stenger-Kovács Cs., Lengyel E. (2015). Taxonomic and distribution guide of diatoms in soda pans of Central Europe. *Studia Botanica Hungarica* 46(Suppl.): 3–203.

Stenger-Kovács Cs., Lengyel E., Buczkó K., Tóth M. F., Crossetti, O. L., Pellingier A., Zámóné Doma Zs., Padisák J. (2014). Vanishing world: alkaline, saline lakes in Central Europe and their diatom assemblages. *Inland Waters* 4: 383–396.

Violle C., Navas M. L., Vile D., Kazakou E., Fortunel C., Hummel I., Garnier E. (2007). Let the concept of trait be functional! *Oikos* 116(5): 882–892.

Williams W. D. (2002). Environmental threats to salt lakes and the likely status of inland saline ecosystems in 2025. *Environmental Conservation* 29: 154–167.

Williams W. D. (2005). Lakes in arid environments. In O'Sullivan P. E. & Reynolds C. S. (ed.): The Lake Handbook Vol 2, Lake Restoration and Rehabilitation. Blackwell Publishing, Malden, Oxford, Carlton. 200-240.

www1.

http://net.jogtar.hu/jr/gen/hjegy_doc.cgi?docid=99600053.TV (2017.08.04.)

A SZERZŐK



KÖRMENDI KITTI a Pannon Egyetem Környezettan alapszakos hallgatójaként, 2014 nyarán kezdett el foglalkozni kovaalgákkal. Egyetemi tanulmányai során összesen hét hazai és egy nemzetközi konferencián vett részt a Kárpát-medence kis szikes tavainak kovaalga közösségeiről készült tanulmányaival. Fő kutatási témái a vizsgált tavak kovaalga közösségeinek fajösszetétele, biodiverzitása és funkcionális diverzitása voltak. 2018 nyarán végzett okleveles Környezetkutatóként.

LENGYEL EDINA PhD, tudományos segédmunkatárs, MTA-PE Limnoökológiai Kutatócsoport. Magyar Hidrológiai Társaság tagja (2017-). 2016-ban a Pannon Egyetem Kémiai és Környezettudományi Doktori Iskolában készítette el doktori értekezését stressz és diszturbancia témakörben. Kitüntetések: MTA VEAB régió legjobb PhD munkája (2017). Kutatási terület: Egyensúlyi állapot vizsgálata; Szikes tavak diatomológiai és limnológiai kutatása; Kovaalga fajok ökofiziológiai vizsgálata; Barna vizű tavak Chrysophyceae algáinak felmérése.

STENGER-KOVÁCS CSILLA PhD, egyetemi docens, Pannon Egyetem, Környezettudományi Intézet, környezettudományi MSc és környezettan BSc szakok szakvezetője. Magyar Hidrológiai Társaság tagja (2006-), MHT Limnológiai Szakosztályának vezetőségi tagja (2017-). Kitüntetések: MTA VEAB régió legjobb PhD munkája (2007), Magyary Zoltán Posztdoktori Ösztöndíj (2013), OTDT Mestertanár Aranyérem (2017), Nők a Tudományban Kiválósági Díj (2018). Kutatási terület: A kovaalgák alkalmazása felszíni vizeink ökológiai állapotbecslésében; Folyóvizek és állóvizek kovaalga közösségeinek guild- és jelleg alapú vizsgálata.

A *Legionella* baktériumok jelenléte, előfordulása épített vizes környezetben

Lippai Anett, Kari András, Reskóné Nagy Mária

KVI-PLUSZ Kft., H-1221 Budapest Szállító utca 6. (Email: lippai.anett@kviplusz.hu)

Kivonat

A természeti környezetben széles körben elterjedt *Legionella* baktériumok különböző súlyosságú, esetenként halálos kimenetelű emberi megbetegedések okozói (legionellózis) lehetnek. Az ember alkotta mesterséges vizes környezetben gyors szaporodásra képesek, különböző vizes rendszerekben (pl. élményfürdők, hűtőtornyok) keletkező aeroszolok közvetítésével pedig nagy távolságokra juthatnak el. A nedves hűtőtornyokról ismeretes, hogy a hűtővizükből képződő aeroszol széllel való terjedése különösen alkalmas a baktériumok nagy területekre való szóródására, ami miatt ezek fokozott kockázatot jelentenek a *Legionella* baktériumok terjesztésében. Vizsgálataink során 5 különböző telephely nedves hűtőtornyának mintázását és *Legionella* szám vizsgálatát végeztük el. Az eredmények alapján a minták 69,4%-a bizonyult megfelelőnek, a fennmaradó 29,6%-ban a hűtőtornyok vizének *Legionella* száma meghaladta a 49/2015 (XI. 6.) EMMI rendelet 1000 TKE/liter határértékét. A magas ($>10^4$ TKE/liter) *Legionella* telepszám érték pedig a hűtőtornyok nem megfelelő üzemeltetésére vezethető már vissza.

Kulcsszavak

Legionella, tenyésztési bakteriológia, hűtőtornyok.

The presence, occurrence of *Legionella* in constructed aquatic environments

Abstract

Legionella bacteria cause human illnesses (Legionnaires' Disease) with different severity and occasional mortality and are prevalent in natural habitats. In human constructed aquatic environments their replication is fast and they can be transported long distances by aerosols formed in different aquatic systems. In cooling towers aerosols form in cooling water, with the transmission of wind, bacteria spread longer regions through cooling towers mean increased risk in the transportation of *Legionella*. During our studies 5 different cooling towers were investigated. Based on our results 69,4% of the samples were adequate while the other 29,6% of the samples the *Legionella* counts exceeded the 1000 CFU/L threshold limit according to decree 49/2015 (XI. 6.) of the Hungarian Ministry of Human Capacities. The heavy contamination ($>10^4$ cfu L⁻¹) of cooling towers is related with the absence of proper operation.

Keywords

Legionella, cultivation dependent techniques, cooling towers

BEVEZETÉS

A *Legionella* nemzetséghez tartozó baktériumok az utóbbi évtized egyik fenyegető betegségcsoportjának, a legionellózisnak a kórokozói (Barna és társai 2017). A *Legionellák* felfedezéséhez egy 1976-os járvány vezetett, amikor 10 napon belül 180 megbetegedésből közel 30 halálos kimenetűnek bizonyult (Kwaik és társai 1998). Több mint 50 fajuk ismeretes, aminek legalább fele humán megbetegedést okoz (Declerck és társai 2010).

A *Legionellák* a természetben széles körben megtalálható, természetes és mesterséges vizes környezetek ubikviter baktériumai, amelyek a fertőzött aeroszol belélegzésével kerülnek az emberi tüdőbe, ahol intracelluláris parazitaként viselkednek (Kwaik 1996, Declerck 2010). A fertőzés kimenetele a baktériumok alveoláris makrofágokban történő szaporodásának függvénye. Az általuk okozott betegségnek kétféle kimenete lehet: az enyhébb lefolyású, ún. Pontiac láz, ami influenzaszerű tünetekkel, lázzal, izomfájdalommal jár, és általában spontán gyógyul, illetve a súlyosabb, ún. pneumóniás forma, amelyet magas láz, köhögés, hányás, hasmenés és idegrendszeri zavarok kísérhetnek. A betegség emberről emberre nem terjed, csak akkor fertőz, ha a képződő aeroszol cseppjei elég kisméretűek (1-3 μ m átmérő) ahhoz, hogy a tüdő mélyére jussanak. A fertőzés hajlamosító tényezői az immunhiányos állapot, vagy a legyengült immunrendszer. Bizonyos korcsoportok (kora- és újszülöttek, idősek) a tapasztalatok alapján fogékonyabbak,

illetve egyes életmóddal kapcsolatos tényezők is ismertek, mint például a dohányzás vagy az alkoholizmus (Barna és társai 2017).

Az utóbbi évtizedekben egyre több információ áll rendelkezésre a *Legionellák* ökológiájáról, az általuk okozott fertőzés patomechanizmusáról, továbbá azon közegekről, amelyek a baktériumok kolonizációjának, illetve vizes közegekben való terjedésének kedveznek. A *Legionella* baktérium képes hosszú időn át fennmaradni a mesterséges vízrendszerekben kialakult biofilmekben, ami „ökológiai nishként működve” tápanyaggal látja el, ezen felül menedéket ad és védelmet nyújt a más baktériumokkal való versengésben, és menedéket jelent a biocid vegyületekkel és a klórozással szemben is. A baktériumokat a klór szokásos dózisa ennél fogva, nem pusztítja el.

A *Legionellák* különleges adaptációs mechanizmusaiknak köszönhetően, más baktériumokkal szemben jelentős előnyben vannak. Több túlélési stratégiával rendelkeznek. Ilyen pl. a tenyésztésbe nem vonható, ún. „VBNC” (viable but non-cultivable) forma felvétele, amikor életképességüket megőrzik, de inaktívak maradnak mindaddig, amíg a környezeti feltételek számukra kedvezővé nem válnak. Természetes környezetben a szélsőséges körülmények átvészelésére gyakori stratégiájuk az is, hogy mint fakultatív, intracelluláris paraziták egysejtű szervezetekben vagy biofilmben ágyazódva épi-

tenek maguknak védelmet, ami a többi mikroorganizmus-sal szemben komoly túlélési előnnyel jár (*Abdel-Nour és társai 2013, Kiss és társai 2014*). Jelenlétük épített vizes környezetekben is gyakran szabadon élő egysejtűekhez (Protozoa) kötött (*Kwaik és társai 1998*). A gazdaszervezettel való parazitizmust a patogén *Legionella pneumophila* esetében is igazolták.

A *Legionella* baktériumok a nedves, melegebb, 20-50 °C közötti környezetet kedvelik. Optimális növekedésük 20-45 °C közötti hőmérsékleten van, 20 °C alatt és 45-50 °C között nem szaporodnak, de nem is pusztulnak el. Biztos pusztulást csak a 60 °C feletti vízhőmérséklet eredményez (*Barna és társai 2017*).

Az ember alkotta mesterséges környezetek (nagy épületek hálózati melegvízrendszere, hűtőtornyok, közfürdők, szökökutak stb.) különösen, ha az egyes rendszerekben az optimális hőmérséklet mellett pangó vizek alakulnak ki, kedveznek a baktériumok megtelepedésének. A nedves hűtőtornyok azáltal, hogy a hűtendő víz egy részét nyitott körülmények között párologtatják, állandó interakcióban állnak a külső környezettel. A víz mozgásával keletkező pára, vagy az igen kisméretű vízcseppek (aeroszol) a szél segítségével kilométerekre juthatnak el. Ha az aeroszol *Legionella* baktériumokkal fertőzött, komoly egészségügyi kockázatot jelent a környék lakói számára. Ezért a hűtőtornyok, mint fokozott kockázattal bíró létesítmények, a *Legionella* baktériumok levegőben való terjedéséhez erősen hozzájárulnak. (*Barna és társai 2017*).

A hazai jogi szabályozásban – az európai előírásokat követve – 2015-ben megjelent egy EMMI rendelet (49/2015 (IX. 6.)), ami kiterjed a *Legionella* baktériumok által fertőzési kockázatot jelentő közegekre, szabályozza a különböző intézményekben működő vízrendszerek ellenőrzését, és útmutatást ad a *Legionella*-expozíció okozta egészségkockázat kezelésére és megelőzésére. Segítségével meghatározhatók azok a kockázatkezelési szintek, amelyek túllépése esetén az üzemeltetőknek mindenképpen be kell avatkozniuk az érintett vízrendszer *Legionella* mentesítése, illetve számának csökkentése érdekében.

CÉLKITŰZÉS

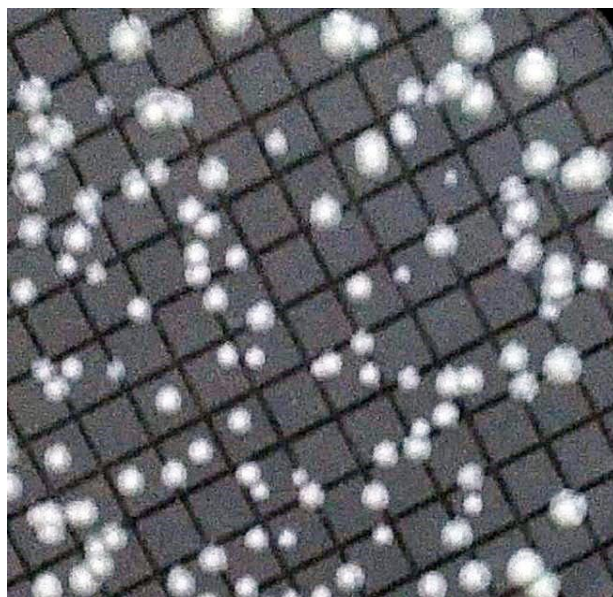
Munkánk során 5 különböző telephely nedves hűtőtornyának hűtővizéből végeztük el a mintavételt és a *Legionella* szám meghatározását. Ezen tanulmány célja alátámasztani a hazai szabályozás időszerűségét, illetve a *Legionella*-expozíció megelőzését szolgáló, helyes üzemeltetés kiemelt fontosságát.

ANYAG ÉS MÓDSZER

A vizek mintavétele minden esetben 100 mL-es, steril csiszolatos üvegekbe történt a mikrobiológiai mintavétel szabályainak figyelembevételével, az MSZ EN ISO 19458:2007 előírásainak megfelelően. A minták szállítása hűtött körülmények között, feldolgozása 24 órán belül az MSZ EN ISO 11731-2:2008 szabvány előírásait követve történt. Mivel a hűtőtornyok vizei általában mikroorganizmusokban gazdagok, a mintákat 10-1-0,1 mL-es térfogatokban koncentráltuk membránszűréssel, fekete nitrocellulóz, 0,45 µm pórusátmérőjű filtereken (*Millipore*

SAS 67120 Molsheim, France). Membránszűrést követően a filtereket savas pufferrel 5 percig kezeltük a háttér mikrobióta viaszosorítása érdekében. A savas kezelést foszfát pufferrel történő mosás követte, majd a filtereket, antibiotikumokat tartalmazó, szelektív, GVPC táptalajra (Oxoid) helyeztük.

A mintákat tartalmazó táptalajokat 10 napon keresztül 37 °C-on inkubáltuk, a 3., 5. és 7. napon sztereomikroszkóp segítségével vizsgáltuk a kifejlődött telepek morfológiáját és azok számát. A *Legionellák* jellegzetesen tejfehér színű, ép szélű, szabályos kör alakú telepeket képeznek, amelyek gyakran irizálnak (*1. kép*).



1. kép. *Legionella* sztereomikroszkópos képe GVPC táptalajon
Picture 1. *Legionella* under stereomicroscopy
on GVPC medium

A gyanús telepek megerősítését cisztein tartalmú BCYE (Oxoid) és ciszteint nem tartalmazó BCYE-cys (Oxoid) táptalajon végeztük, amit 37°C-on 24 óráig inkubáltunk. A *Legionellák* cisztein auxotrófiájuknak köszönhetően csak cisztein tartalmú táptalajon növekednek. A megerősítés eredménye szerint a vízminták *Legionella* számát (TKE: telepképző egység) 1 liter térfogatra adtuk meg.

EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

Vizsgálataink során 5 ipari létesítmény 33 db nyitott nedves hűtőtornyát vizsgáltuk, összesen 20 alkalommal. A 49/2015 (IX. 6.) EMMI rendelet értelmében azok a hűtőtornyok, ahol a *Legionella* száma meghaladta a figyelmeztető szintet, vagyis az 1000 TKE/liter értéket, beavatkozást igényelnek. A hűtőtornyok esetében az evaporációt és a technológia hűtését ugyanaz a víz biztosítja és mivel a teljes víztérfogat közlekedik a hűtőrendszer külső elemeiben, jelentős mennyiségű vakág, illetve pangó szakasz alakul ki. Így nem meglepő a *Legionella* baktériumok elterjedése a vizsgált rendszerekben (*1. táblázat*).

Eredményeink a fenti ténytet megfelelően alátámasztják, ugyanis a 137 hűtővíz minta *Legionella* vizsgálata során 95 (69,4%) alkalommal volt 1000 TKE/liter alatti a vízminták *Legionella* száma, 42

(30,6%) esetben azonban az 1000 TKE/liter értéket meghaladta (1. táblázat). Az egyes telephelyek hűtőtornyainak vizében mért, kifogásolt értékek a *Legionella* telepszám felmérésének, monitorozásának kezdetére volt jellemző. Az 5 telephely közül az A esetben, ahol a *Legionella* baktériumok előfordulásának mértéke minden alkalommal határérték alatti volt, a létesítmény jó üzemeltetését, a hűtőtornyok megfelelő kezelését igazolta. A bakteriális növekedés és a biofilm képződés megakadályozására a keringetett víz

betöményedését felügyelték és a vizet heti rendszerességgel biociddal kezelték. A többi telephely hűtőtornyainak üzemeltetése a vizsgálatok kezdetekor elmaradt az optimális üzemeltetési gyakorlattól, amit *Legionella* kolonizáció többszöri (34 alkalom) határérték feletti mértéke is jelzett. A kockázatsökkentő beavatkozások részeként alkalmazott beavatkozások (sokk-fertőtlenítés, mechanikai tisztás) eredményeként a további 4 telephelyen is sikerült a *Legionella* baktériumok számát 1000 TKE/liter alatt tartani.

1. táblázat. Az egyes telephelyek hűtőtornyainak *Legionella* vizsgálati eredményei
Table 1. Results of the *Legionella* investigations of cooling towers from different industrial parks

Telephely	Hűtőtornyok Száma	Mintavételek száma	Hiányos üzemeltetés		Optimális üzemeltetés	
			<1000 TKE/L	>1000 TKE/L	<1000 TKE/L	>1000 TKE/L
A	2	3	-	-	6	0
B	3	6	1	11	6	0
C	3	5	0	3	11	1
D	24	4	29	19	41	7
E	1	2	0	1	1	0
Összesen:	33	20	30	34	65	8

Vizsgálataik során hasonló következtetésre jutottak Mouchtouri és társai (2010), akik szignifikáns összefüggést találtak a hűtőtornyok magas *Legionella* száma (>10⁴ TKE/liter) és hosszú működési ideje, illetve a kémiai fertőtlenítés, a kockázatbecslés és az üzemeltetési terv hiánya között. Ezen felül megállapítást nyert az is, hogy a kockázatsökkentő beavatkozások (folyamatos biocid adagolás, betöményedés szabályozása) megléte mellett tapasztalt, továbbra is magas (>1000 TKE/liter) *Legionella* szám ugyancsak a helytelen üzemeltetés eredménye (figyelmen kívül hagyott áramlás nélküli, pangó vezetékszakaszok, illetve a hűtőtornyok magas korából adódó elhasznátlósága).

Azon hűtőtornyoknál, ahol azonnali beavatkozás szükséges, az üzemeltetőnek számos tényezőt figyelembe kell vennie, amelyek hozzájárulnak a baktériumok megtelepedéséhez. Ilyen például a vízkőképződés megakadályozása, a szilárd szennyeződések kiszűrése, az algásodás vagy biofilmek kialakulásának gátlása biocidok szakszerű adagolásával. Az utóbbiakat a szokásos dózissal magasabb koncentrációban alkalmazva, ún. sokk-fertőtlenítéssel javasolt használni, mivel az a rezisztens baktériumokat sokkal hatékonyabban szorítja vissza. A fertőtlenítés akkor tekinthető eredményesnek, ha biofilm-, alga- és baktériumnövekedés megszűnik, tovább már nem látható (Barna és társai 2017).

ÖSSZEFOGLALÁS

A *Legionellák* különböző súlyosságú emberi megbetegedésért felelős baktériumok, amelyek a természetben szinte mindenütt megtalálhatók. Kiváló adaptációs mechanizmusuknak köszönhetően, az ember alkotta mesterséges környezetben gyors szaporodásra képesek, ami komoly közegészségügyi kockázatot jelent. Kiemelt kockázattal bírnak a nedves hűtőtornyok, ahol a megfelelő üzemeltetés és kockázatkezelés nélkülözhetetlen ahhoz, hogy a biztonságos közegészségügyi szempontok fenntar-

tása mellett a hűtőtorony hosszú távon, biztonságosan működhessen. Mindez célzott intézkedésekkel, a probléma okának feltárásával, kezelésével valósulhat meg.

IRODALOMJEGYZÉK

- Abdel-Nour M., Duncan C., Low D.E., Guyard C. (2013). Biofilms: the stronghold of *Legionella pneumophila*. International Journal of Molecular Science 14, 21660-21675.
- Barna Zs., Khayer B., Róka E., Vargha M. (2017). Módszertani levél *Legionella* által okozott fertőző kockázatot jelentő közegekre, illetve létesítményekre vonatkozó kockázat értékeléséről és a kockázatsökkentő beavatkozásokról. Országos Közegészségügyi Központ 2017/2.
- Kiss, C., Barna, Z., Vargha, M., Török, J.K. (2014). Incidence and molecular diversity of *Acanthamoeba* species isolated from public baths in Hungary. Parasitology Research 113:2551- 2557.
- Decklerk P. (2010). Biofilms: the environmental playground of *Legionella pneumophila*. Environmental Microbiology 12(3), 557-566.
- Kwaik Y.A. (1996). The phagosome containing *Legionella pneumophila* within the protozoan *Hartmannella vermiformis* is surrounded by the rough endoplasmic reticulum. Applied and Environmental Microbiology 62, 2022-2028.
- Kwaik Y.A., Gao L-Y., Stone J.B., Venkataraman C., Harb S.O. (1998). Invasion of Protozoa by *Legionella pneumophila* and its role in bacterial ecology and pathogenesis. Applied and Environmental Microbiology 64, 3127-3133.
- Mouchtouri V.A., Goutziana G., Kremastinou J., Hadjichristodoulou C. (2010). *Legionella* species colonization in cooling towers: risk factors and assessment of control measures. American Journal of Infection Control 38, 50-55.

A SZERZŐK

LIPPAI ANETT Biológus, MSc diplomáját az ELTE Mikrobiológiai Tanszéken szerezte 2012-ben. A KVI-PUSZ Környezetvédelmi Vizsgáló Iroda Kft. biológusa, ahol környezeti minták mikrobiológiai vizsgálatával foglalkozik. PhD képzését az ELTE Mikrobiológiai Tanszéken 2017-ben fejezte be. Kutatási témája a budapesti gyógyfürdők mikrobiológiai vizsgálata.

KARI ANDRÁS Biológus, MSc diplomáját az ELTE Mikrobiológiai Tanszéken szerezte 2015-ben. Az ELTE Mikrobiológiai Tanszékének III. éves PhD hallgatója. Kutatási témája: A talajok tartós szerves anyag pótlása. A KVI-PUSZ Környezetvédelmi Vizsgáló Iroda Kft. biológus gyakornoka.

RESKÓNÉ NAGY MÁRIA PhD. A KVI-PUSZ Környezetvédelmi Vizsgáló Iroda Kft. szakértője. Kutatási területe: tavi mikrobiális közösségek összetétele és dinamikája, környezetvédelmi laboratóriumok minőségbiztosítása.

A Széchenyi gyógyfürdő mikrobiológiai vizsgálata

Lippai Anett^{1,2}, Szabó Attila¹, Felföldi Tamás¹, Tóth Erika¹

¹Eötvös Loránd Tudományegyetem, Mikrobiológiai Tanszék H-1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/C.

²KVI-PLUSZ Kft., H-1221 Budapest, Szállító utca 6. (Email: lippai.anett@kviplusz.hu)

Kivonat

A Széchenyi gyógyfürdő Európa egyik legnagyobb fürdőkomplexuma, aminek gyógyvize 1246 méter mélyről, 76°C hőmérsékleten érkezik a felszínre. Munkánk során a Széchenyi gyógyfürdő 76°C-os forrásvizét, egy töltő-ürítő és egy vízforgatásos 38°C-os, valamint egy töltő-ürítő 20°C-os medencéjének természetes mikrobaközösségeit tártuk fel. Tenyésztés során tápanyagszegény tápközegeket alkalmaztunk, az izolált baktérium törzseket (227 darab) 16S rRNS génjük bázissorrend elemzése alapján azonosítottuk. A vízminták csíraszámai mellett epifluoreszcens mikroszkóppal meghatároztuk azok összes sejtszámát is: forrás $1,1 \times 10^2$ TKE/mL és $6,1 \times 10^3$ sejt/mL, a töltő-ürítő típusú 38°C-os medencében $6,4 \times 10^4$ TKE/mL és $1,4 \times 10^6$ sejt/mL, a 20°C-os medencében $8,2 \times 10^3$ TKE/mL és $3,7 \times 10^5$ sejt/mL, a vízforgatásos 38°C-os medencében $2,2 \times 10^3$ TKE/mL és 9×10^5 sejt/mL értékeket kaptunk. A forrás-vízben a tenyésztés során heterotróf anyagcserét folytató, aerob mikroorganizmusokat sikerült kimutatni, amelyek közül az Actinobacteria phylum tagjai bizonyultak dominánsnak, míg a medencék vizéből a Proteobacteria tagjait sikerült nagy számban izolálni. Újgenerációs DNS-szekvenálással a forrásvízben, a beltéri töltő-ürítő 20°C-os és a kültéri vízforgatásos 38°C-os medencében dominánsnak bizonyultak a Proteobacteria phylum tagjai, amelyeket a beltéri töltő-ürítő 38°C-os medencében is kimutattunk, azonban ebben a medencében az Aquificae bizonyult dominánsnak.

Kulcsszavak

forrás és medencevíz, tenyésztés, mikroszkópos sejtszám, 16S rRNS gén, újgenerációs DNS-szekvenálás, bakteriális diverzitás.

Microbiological investigations in Széchenyi thermal bath

Abstract

Széchenyi thermal bath is one of the largest bath complexes in Europe, its 76°C well water reaches the surface from a depth of 1246 m. During our studies, the well water of Széchenyi thermal bath (76°C), and the waters of a charging-unloading, a turning 38°C and a charging-unloading 20°C pool were investigated to examine the natural bacterial communities. To cultivate bacteria, oligotrophic media were applied, the isolated bacterial strains (total number, 227) were identified by 16S rRNA gene sequencing. Determination of cultivable and total cell counts were also performed: well water contained 1.1×10^2 CFU/mL and 6.1×10^3 cells/mL, the charging-unloading 38°C pool 6.4×10^4 CFU/mL and 1.4×10^6 cells/mL, the 20°C pool 8.2×10^3 CFU/mL and 3.7×10^5 cells/mL, the turning 38°C pool 2.2×10^3 CFU/mL and 9×10^5 cells/mL bacteria. Based on cultivation, from the well water aerobic heterotrophic bacteria were isolated with the dominance of Actinobacteria, while in the pool waters members of Proteobacteria were dominant. With next-generation DNA sequencing, Proteobacteria was the dominant phylum in the well, in the indoor charging-unloading 20°C and in the outdoor turning 38°C pools, and they were also present in the indoor charging-unloading 38°C pool where Aquificae was the dominant phylum.

Keywords

well and pool waters, cultivation, microscopic cell count, 16S rRNA gene, next-generation DNA sequencing, bacterial diversity.

BEVEZETÉS

Az évszázadok során fokozatosan fejlődő fürdőkultúra és ennek hatására létesített népszerű fürdők miatt méltán nevezhetjük Magyarországot „fürdőnagyhatalomnak”. A hazai jogszabályok a fürdővizek higiénés vizsgálatára terjednek ki elsősorban, a Gellért fürdő forrásáról és egy medencéjéről (*Szuróczi és társai 2016*), a Dandár fürdő forrásáról és három medencéjéről (*Lippai és társai 2017*) ismertek olyan vizsgálatok, amelyek a fürdőket benépesítő természetes mikrobaközösségekre irányulnak. Budapest (és Európa) legnagyobb fürdőkomplexumának, a Széchenyi gyógyfürdőnek azonban csak a forrásvizével kapcsolatos mikrobiológiai kutatások állnak rendelkezésre (*Anda és társai 2015*).

A Széchenyi gyógyfürdő 1913-tól termálfürdőként funkcionál. Gyógyvize Budapest második legmélyebb kútjából, 1246 méter mélyről 76°C-os hőmérséklettel érkezik a felszínre, kalcium-magnézium-hidrogénkarbonátos-szulfátos hévíz, amely jelentős fluorid, metabórsav és nátrium tartalommal jellemezhető. Kedvező kémiai para-

métereinek köszönhetően rekreációs célok mellett a forrás-víz ivókúra formájában is alkalmazható különböző megbetegedések kezelésére (<http://www.szechenyi-furdo.hu/viz-osszetetele>). A fürdőkomplexum különböző hőmérsékletű, beltéri gyógymedencével (töltő-ürítő) és kültéri (vízforgatásos) élménymedencével rendelkezik, amelyek higiénés és általános kémiai vizsgálatát minden hónapban a Budapest Gyógyfürdői és Hévízei Zrt. Vízhigiénés vizsgálati laboratóriuma elvégzi, az általunk vizsgált medencék ez idáig higiénés szempontból megfeleltek az előírásoknak.

Munkánk során a Széchenyi gyógyfürdő ellátó kútjának és három medencéjének átfogó mikrobiológiai vizsgálatát végeztük el tenyésztésen alapuló és tenyésztéstől független eljárások alkalmazásával. Tenyésztés során a Dandár gyógyfürdő mikrobiológiai vizsgálatával megegyezően speciális, tápanyagszegény közegeket és alternatív szilárdító ágenseket alkalmaztunk (*Lippai és társai 2017*). A tenyésztéses eljárások mellett elvégeztük az összes sejtszám meghatározást, illetve újgenerációs DNS-szekvenálás segítségével feltártuk a vízminták teljes diverzitását.

CÉLKITŰZÉS

Munkánk célja a Széchenyi gyógyfürdő 76°C-os forrás-vizének (SF), egy beltéri töltő-ürítő típusú 38°C-os medencéjének (SM1), egy beltéri töltő-ürítő típusú 20°C-os medencéjének (SM2) és egy kültéri vízforgatásos 38°C-os (SM3) medencéjének mikrobiológiai vizsgálata volt tenyésztésen alapuló eljárások és az újgenerációs DNS-szekvenálás eredményeinek összehasonlításával.

ANYAG ÉS MÓDSZER

Mintavétel

A mintavétel 2014. október 22-én történt a Széchenyi gyógyfürdő forrásvizéből (SF), egy beltéri töltő-ürítő 38°C-os medencéjéből (SM1), egy beltéri töltő-ürítő 20°C-os (SM2) és egy kültéri vízforgatásos 38°C-os medencéjéből (SM3). A forrásvíz a fürdő ivókútjából származott, hőmérséklete 76°C-os, pH-ja 7,2. Az SM1 beltéri medence 38°C-os, pH-ja 7,1; a mintavételkor 1 fürdőző tartózkodott a medencében; SM2 beltéri medence 20°C-os, pH-ja 7,3; a mintavételkor 1 fürdőző tartózkodott a medencében; az SM3 kültéri medence 38°C-os, pH-ja 7,5; a mintavételkor 11 fő tartózkodott a medencében.

A mintavétel minden esetben 1 L-es, steril csavarkupakos üvegekbe történt a mikrobiológia szabályainak figyelembevételével az MSZ EN ISO 19458:2007 szabványnak megfelelően, mind a folyamatos áramlású ivókútból, mind a medencéből merítéses technika által (a vízfelszín alól 10-15 cm-ről).

Mintafeldolgozás tenyésztéses vizsgálatok és összes sejtszám meghatározása céljából

A tenyésztéses vizsgálatokhoz és az összes sejtszám meghatározáshoz a vízmintákat a Dandár fürdő vizsgálatával megegyezően dolgoztuk fel (Lippai és társai 2017), azzal az eltéréssel, hogy tenyésztés során a forrásvíz esetében az inkubáció 55°C-on 7 napig tartott, az SM1 és SM3 medencék esetében 38°C-on 7 napig, az SM2 medence esetében 20°C-on, szintén 7 napig.

Mintafeldolgozás újgenerációs DNS-szekvenálás céljából

Munkánk során újgenerációs DNS-szekvenálással is vizsgáltuk a vízminták baktériumközösségeit a Szabó és társai (2017) által megadott 16S rRNS gén alapú piroszekvenálási módszert követve, azzal a különbséggel, hogy az előzetes T-RFLP vizsgálatokkal való összevetetőség végett a 27F és 534R primer párt használtuk a gén V1-V3 régiójának szelektív felszaporítására. DNS kivonáshoz a forrásvízből 500 mL-t, míg a medence vizekből 200 mL-t szűrtünk 0,45 µm pórusátmérőjű cellulóz-észter (Whatman ME 25/21 STL, STL, GE Healthcare Life Sciences, New Jersey, USA) filteren keresztül.

EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

A tenyésztéses eljárások és az összes sejtszám meghatározás eredményei

A vízminták összes sejtszám meghatározása során a forrásvíz esetében $6,1 \times 10^3$ sejt/mL értékeket, az SM1 medencében $1,4 \times 10^6$ sejt/mL; az SM2 medencében $3,7 \times 10^5$ sejt/mL; az SM3 medencében 9×10^5 sejt/mL értékeket kaptunk. A legmagasabb sejtszám értékeket a

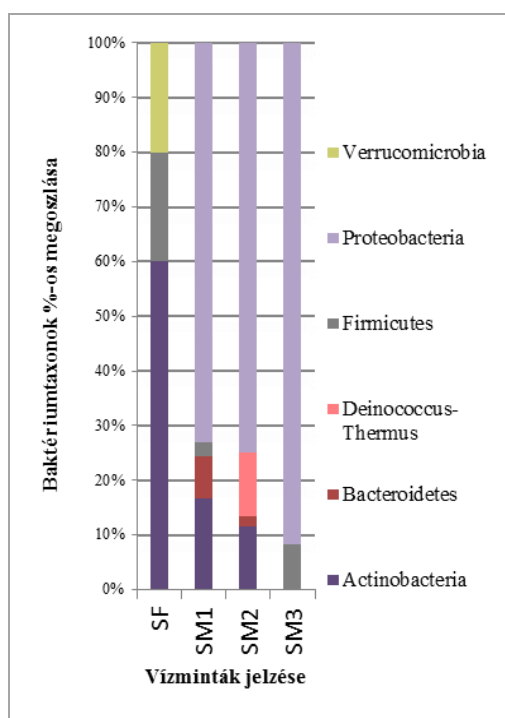
beltéri töltő-ürítő 38°C-os medencében (SM1) tapasztaltunk, ami feltételezhetően a vízkezelés módjának köszönhető, ugyanis a töltő-ürítő típusú medencéknél nem alkalmaznak fertőtlenítőszereket a gyógyhatás megőrzése céljából, míg a vízforgatásos medencéknél folyamatos a fertőtlenítőszer adagolása (Vargha és társai 2015). A mintavétel során a kültéri vízforgatásos (SM3) medencében volt a legmagasabb a fürdőzők száma (11 fő), amely magyarázhatja a magas sejtszám értékeket, továbbá a külső környezetből (levegőből, egyéb felületekről emberi közvetítéssel) számos mikroorganizmus kerülhet be a medencébe.

A sikeresen tenyésztésbe vont baktériumok száma a beltéri 38°C-os SM1 medencében $6,4 \times 10^4$ TKE/mL, a beltéri 20°C-os SM2 medencében $8,2 \times 10^3$ TKE/mL, a kültéri 38°C-os SM3 medencében $2,2 \times 10^3$ TKE/mL volt. A forrás vizében ($1,1 \times 10^2$ TKE/mL) megközelítőleg két nagyságrenddel alacsonyabb értéket tapasztaltunk, mint a medencék esetében. A medencék magasabb csíraszám értékeinek okai lehetnek a medencékben érvényesülő erőteljes fürdőzőhatás, továbbá a medencéket érő különböző külső környezeti hatások. A beltéri töltő-ürítő típusú medencék magasabb csíraszámú feltételezhetően a vízkezelés módjával magyarázható. A forrásvíz alacsonyabb csíraszámú egyrészt annak köszönhető, hogy a forrás kevésbé kitett a külső környezeti hatásoknak, másrészt a tenyésztést megnehezíti a forrás 76°C-os hőmérséklete (több mint 20°C-kal alacsonyabb hőmérsékleten zajlott a tenyésztés), amelynek köszönhetően kevesebb baktériumot sikerült tenyésztésbe vonni, mint a medencék esetében.

Munkánk során összesen 227 baktériumtörzs tiszta tenyészetét hoztuk létre: 52 törzset a forrásból (6 faj), 75 törzset az SM1 medencéből (34 faj), 56 törzset az SM2 medencéből (25 faj), 40 törzset az SM3 medencéből (15 faj). A Széchenyi gyógyfürdő forrásában közvetlen szélesztéssel mindössze 5 baktérium törzset (4 faj) sikerült tenyésztésbe vonni: *Brevibacillus choshinensis* (Firmicutes), *Roseimicrobium gellanyliticum* (Verrucomicrobia), *Micrococcus aloeverae* (Actinobacteria) és a *Mycobacterium vaccae* (Actinobacteria) mikrobákat (1. ábra).

Dúsítási technikával később a *Micrococcus luteus* (Actinobacteria) és a *Meihermus silvanus* (Deinococcus-Thermus) baktériumokat mutattuk ki, utóbbi termofil szerkezet, képes 65°C-on történő növekedésre (Nobre és társai 1996). A 38°C-os medencék baktériumközösségeinek összehasonlításakor azt tapasztaltuk, hogy a beltéri, 38°C-os SM1 medence vizéből jóval több baktérium taxont sikerült izolálnunk, mint a kültéri, SM3 jelzésűből, amelyet okozhat a medencék eltérő elhelyezkedése, továbbá a vízkezelés jellege. A beltéri töltő-ürítő típusú SM1 medencéből 25 nemzetség képviselőjét mutattuk ki, míg a kültéri vízforgatásos medence vizéből 10 nemzetség tagját sikerült tenyésztésbe vonni. A beltéri töltő-ürítő 38°C-os medence domináns mikrobái a *Pseudomonas* (12 törzs, 5 faj); *Ferrovibrio* (10 törzs, 1 faj); *Hydrogenophaga* (8 törzs, 2 faj) és *Microbacterium* (6 törzs, 1 faj) nemzetségek baktériumai. A kültéri vízforgatásos 38°C-os medence vizéből a *Porphyrobacter*

(10 törzs, 2 faj); a *Pseudomonas* (6 törzs, 2 faj) és a *Rhizobium* (6 törzs, 2 faj) nemzetség tagjait izoláltuk legnagyobb számban. Utóbbiak nitrogénkötésük révén juthatnak fontos szerephez oligotróf környezetekben. (Szuróczi és társai 2016). Az SM3 medencéből sikerült továbbá 2 olyan baktériumtaxont is tenyésztésbe vontunk, amelyek a 16S rDNS bázissorrend elemzése alapján az *Allorhizobium pseudoryzae*-vel mutatnak 97,72%-os valamint 97,65%-os hasonlóságot, ezáltal a tudomány számára új baktériumtaxont jelenthetnek. Az *Allorhizobium* nemzetség tagjai a *Rhizobium* nemzetséghez hasonlóan szintén képesek a nitrogénkötésre (Lajudie és társai 1998). A beltéri töltő-űritő 20°C-os medence vizéből 16 nemzetség tagjait sikerült tenyésztésbe vonni: dominánsak voltak a *Rheinheimera* (9 törzs, 1 faj); *Pseudomonas* (6 törzs, 4 faj); *Deinococcus* (6 törzs, 2 faj); *Paracoccus* (6 törzs, 3 faj) és az *Acinetobacter* (5 törzs, 3 faj) nemzetség tagjai.



1. ábra. A Széchenyi gyógyfürdő forrásában és medencéinek vizében előforduló törzsek (phylumok) megoszlása a tenyésztéses vizsgálatok alapján

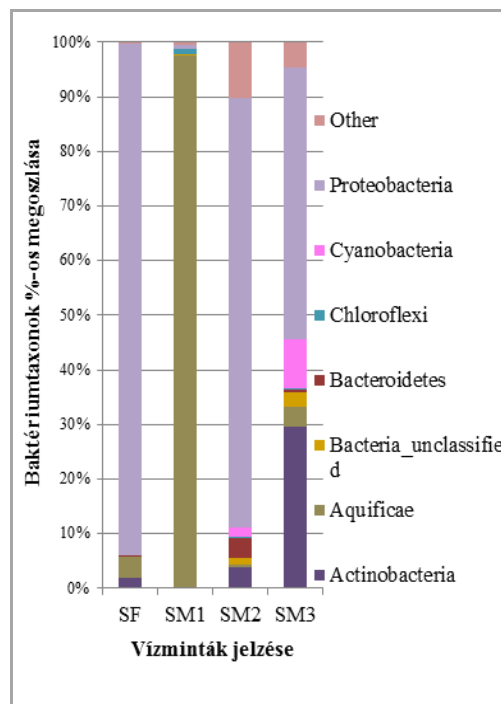
Figure 1. Distribution of bacterial phyla in the well and pool waters of Széchenyi bath based on cultivation

Vizsgálataink során a forrásvízből mindössze néhány olyan taxont sikerült tenyésztésbe vonni, amelyek a medencék vizében is jelen voltak. Az eredmény nem meglepő, mivel a medencék vize a forrásból származik, így várható volt, hogy sikerült tenyésztésbe vonni olyan baktériumokat, amelyek a forrásban és a medencékben egyaránt megtalálhatók, ugyanakkor a különbségek nyilvánvalóak. A medencék vizéből számos olyan nemzetséget mutattunk ki (*Pseudomonas*, *Acinetobacter*, *Porphyrobacter*, *Micrococcus*, *Moraxella*), amelyek feltételezhetően antropogén úton kerültek a medencékbe. A medencékben érvényesülő fürdőzőhatásnak és a külső környezetből a medencékbe kerülő mikroorganizmusoknak köszönhetően a medence vizekben magasabb sejtszám és csíraszám értékeket tapasztaltunk, illetve az

izolált taxonok száma is jóval magasabb volt, mint a forrás esetében.

Az újgenerációs DNS-szekvenálás eredményei

Az újgenerációs DNS-szekvenálás eredményei alapján a forrásvízben, a Proteobacteria, Bacteroidetes, Aquificae és az Actinobacteria phylum képviselőit sikerült legnagyobb arányban kimutatni (2. ábra).



2. ábra. A Széchenyi gyógyfürdő forrásában és medencéinek vizében előforduló törzsek (phylumok) megoszlása az újgenerációs DNS-szekvenálás alapján

Figure 2. Distribution of bacterial phyla in the well and pool water of Széchenyi bath based on next-generation DNA sequencing

A Proteobacteria phylum Alphaproteobacteria osztálya bizonyult a forrásvízben dominánsnak, amely a Rhizobiales rendbe tartozó *Methylobacterium*oknak köszönhető. Ezek a baktériumok a forrás minta mellett a beltéri SM2 és SM3 medencékben is szintén jelen voltak. Az Alphaproteobacteria osztály mellett a Gammaproteobacteria osztály képviselői is kimutathatóak voltak a forrás mintában, a vizes környezetekből széles körben izolált *Pseudomonas* és a tengeri és édes vízi mintákból izolált *Shewanella* nemzetség által (Ziemke és társai 1998). Utóbbiakat minden medence mintából is sikerült kimutatni. A forrás mintában is megtalálható Aquificae phylum a *Sulfurihydrogenibium* nemzetséggel szintén minden vízmintában jelen volt, továbbá a beltéri SM1 medencében domináns baktériumok voltak. Ezek a termálforrásokból korábban leírt mikrobák, kemolitotróf anyagcseréjükkel a kénkörforgalomban jelentős szerepet töltenek be, vas(II)-t, ként vagy tioszulfátot használnak elektron donorként, nitrátot, vas(III)-at vagy oxigént elektron akceptorként (Takai és társai 2003). Az Actinobacteria phylumot a forrás mintában az *Actinomyces*, *Corynebacterium*, *Mycobacterium* és *Micrococcus* nemzetségek képviselték, utóbbiakat tenyésztés során is sikerült izolálni. Az SM1 és SM2 medencékben a termofil, anaerob *Anerolinea*

(Chloroflexi) nemzetség (*Yamada és társai 2006*) tagjai is jelen voltak. Az SM3 medencéből ezeket a baktériumokat nem sikerült kimutatni, feltételezhetően ez az eltérő vízkezelésnek köszönhető. Az SM1 medencében továbbá nagy számban képviselték magukat az *Acidovorax* és a *Hydrogenophaga* nemzetség tagjai (Betaproteobacteria), amelyet megerősítettek a tenyésztési vizsgálatok eredményei is. Utóbbiak minden medence mintában megtalálhatóak voltak. A *Moraxella* (Gammaproteobacteria) nemzetség tagjai ugyancsak mindhárom medencében jelen voltak, tenyésztési vizsgálatokkal a beltéri SM1 és SM2 medencékből sikerült kimutatni őket. A *Moraxella* nemzetség tagjait humán bőrfelületről már korábban kimutatták (*Rossau és társai 1991*), továbbá a forrás mintában nem voltak jelen, ezáltal feltételezhetően antropogén úton kerültek a medencékbe. Kizárólag az SM2 medencében voltak jelen az *Albidiferax* (Betaproteobacteria) nemzetség képviselői, amelyek sós vízi környezetekben szintén megtalálhatóak (*Ramana és társai 2009*). A *Thiofaba* (Gammaproteobacteria) nemzetség tagjai kizárólag az SM3 medencében voltak jelen, a kemolitoautotróf anyagcserét folytató baktériumokat korábban más termálforrásokból is leírták, mint a kénkörforgalomban jelentős szerepet betöltő mikrobákat (*Mori és társai 2008*).

Az újgenerációs DNS-szekvenálás alkalmazásával azt tapasztaltuk, hogy a forrásvíz és a medencék vize is változatos képet mutatott, a forrásvízben lévő baktériumokat a medence mintákban is sikerült kimutatni. Vizsgálataink során potenciálisan nitrogénkötő mikrobákat mutattunk ki tenyésztési és nem tenyésztési eljárásokkal egyaránt, a kén körforgalmában jelentős szerepet játszó mikroorganizmusok jelenlétét azonban csak újgenerációs DNS-szekvenálás alkalmazásával sikerült igazolni.

Budapesti gyógyfürdők mikroba közösségeinek összehasonlítása

A fürdővizekre irányuló mikrobiológiai kutatások során legtöbb esetben a higiénés szempontokat vizsgálták, az utóbbi időben azonban egyre több információ áll rendelkezésre a gyógyfürdők teljes mikrobiális összetételéről.

A Széchenyi gyógyfürdő forrásvizét és biofilm mintáját korábban molekuláris klónozás segítségével is vizsgálták (*Anda és társai 2015*). A forrásvízben a Betaproteobacteria tagjai bizonyultak dominánsnak, a fakultatív kemolitoautotróf kénoxidáló *Thiobacillus aquesul*isnak köszönhetően, amelyet angliai termálforrásokból korábban már izoláltak (*Wood és társai 1988*). A biofilm minták molekuláris klónjai az Aquificaehez tartozó *Sulfurihydrogenobium* nemzetséghez tartozó mikrobák voltak. Természetesen az eltérő vizsgálati módszerek (pl. PCR primerek) alkalmazása nem teszi lehetővé a pontos összehasonlítást, megjegyzendő azonban, hogy a Proteobacteria tagjait, továbbá a kénkörforgalomban jelentős szerepet játszó *Sulfurihydrogenobium* nemzetség képviselőit a Széchenyi gyógyfürdő vizéből molekuláris klónozással és újgenerációs DNS-szekvenálással is sikerült kimutatni.

Tenyésztési módszerekkel a budai Gellért fürdő 36°C-os forrásvizének és egy töltő-ürítő 38°C-os meden-

céjének vizsgálatát is elvégezték már korábban, amely során a forrásban és a medencékben egyaránt a Proteobacteria (Alphaproteobacteria) osztály tagjai bizonyultak dominánsnak. A medence vizéből a Széchenyi gyógyfürdő medencéiben is megtalálható nemzetségeket (*Rhizobium*, *Porphyrobacter*, *Blastomonas*, *Pseudomonas*, *Acinetobacter*, *Chelatococcus*) mutattak ki tápanyag szegény R2A és M4 medium alkalmazásával (*Szuróczi és társai 2016*).

A Dandár fürdő 44°C-os forrásvizének és három medencéjének tenyésztési vizsgálata során azt tapasztaltuk, hogy a forrásvízből a Széchenyi gyógyfürdőhöz hasonlóan csak kevés baktérium taxont sikerült tenyésztésbe vonni (*Lippai és társai 2017*). Mindkét fürdő forrásában a *Brevibacillus choshinensis* és *Micrococcus alovarae* baktériumokat mutattuk ki. Számos nemzetség esetében (*Pseudomonas*, *Brevibacillus*, *Hydrogenophaga*, *Sphingopixis*, *Paracoccus*, *Rhizobium*, *Acinetobacter* és *Bacillus*) átfedést tapasztaltunk a két gyógyfürdő medencéinek vizei között, ami nem meglepő, hiszen az általunk izolált baktériumok egyrészt vizes környezetben széles körben elterjedtek, másrészt a humán bőr közvetítésével antropogén úton, illetve a külső környezetből is a medencékbe kerülhetnek.

ÖSSZEFOGLALÁS

A termálforrásokban csak kevés élőlény, elsősorban prokarióta szervezetek képesek élni. Munkánk során a Széchenyi gyógyfürdő forrásának és három medencéjének mikrobiológiai vizsgálatát végeztük el, tenyésztésen alapuló és tenyésztéstől független eljárások alkalmazásával.

A csíraszám és az összes sejtszám meghatározás eredményei alapján a forrás és a medencék között 1-2 nagyságrendnyi különbség figyelhető meg. Az azonos hőmérsékletű medencék közül a beltéri 38°C-os medence csíraszama és sejtszáma bizonyult a legmagasabbnak, amely feltételezhetően a töltő-ürítő típusú vízkezelésnek is köszönhető. A kültéri 38°C-os medencében a vízforgatásos vízkezelés és a fertőtlenítőszer alkalmazása magyarázhatja az alacsony csíraszám értékeket.

Mind a forrásban, mind a medencék esetében változatos összetételű mikrobaközösséget sikerült kimutatnunk minden általunk vizsgált módszerrel. A forrásból igen kevés baktérium taxont sikerült tenyésztésbe vonnunk, közülük a *Brevibacillus*, *Micrococcus* és *Mycobacterium* nemzetség tagjait a medencék vizéből is sikerült kimutatni. Az eredmény feltételezhetően a forrásvíz magasabb hőmérsékletének köszönhető, továbbá a medencékben eltérő környezeti paraméterek érvényesülnek, eltérő a vízkezelés módja. Az újgenerációs DNS-szekvenálással a forrásban a *Methylobacterium*oknak köszönhetően az Alphaproteobacteria osztály (Proteobacteria) bizonyult dominánsnak, tenyésztéssel azonban ezeket a mikrobákat nem sikerült kimutatni (metilotróf anyagcseréjük miatt erre az alkalmazott táptalajok nem is lettek volna alkalmasak). A medencékben található baktériumközösség képe változatos, számos a kénkörforgalomban szerepet játszó mikroorganizmus révén, amelyeket tenyésztési vizsgálatokkal szintén nem sikerült kimutatni.

Munkánkban rámutattunk arra, hogy a fürdővizek nem higiénés célú bakteriológiai vizsgálata számos újdonságot és érdekességet tartogat, amit az is igazol, hogy tanszékünk munkatársai nemrég egy új nemzetséget írtak le a Gellért fürdő vizéből, *Gellertiella hungarica*, gen. nov., sp. nov. néven (Tóth és társai 2017).

IRODALOMJEGYZÉK

Anda D., Makk J., Krett G., Jurecska L., Márialigeti K., Madl-Szőnyi J., Borsodi A., K. (2015). Thermophilic prokaryotic communities inhabiting the biofilm and well water of a thermal karst system located in Budapest (Hungary). *Extremophiles* 19(4), 787-97.

Lajudie de P., Laurent-Fulele E., Willems A., Torck U., Coopman R., Collins D.M., Kersters K., Dreyfus B., Gillis M. (1998). *Allorhizobium undicola* gen. nov., sp. nov., nitrogen-fixing bacteria that efficiently nodulate *Neptunia natans* in Senegal. *International Journal of Systematic Bacteriology* 48, 1277-1290.

Lippai A., Káli Sz., Vajna B., Szuróczi S., Tóth E. (2017). A Dandár fürdő mikrobiológiai vizsgálata. *Hidrológiai Közöny* 97, Különszám, 9-14.

Mori K., Suzuki K. (2008). *Thiofaba tepidiphila* gen. nov., sp. nov., a novel obligately chemolithoautotrophic, sulfur-oxidizing bacterium of the Gammaproteobacteria isolated from a hot spring. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* 58, 1885-1891.

Nobre M.F., Trüper H.G., Da Costa M.S. (1996). Transfer of *Thermus ruber* (Loginova et al. 1984), *Thermus silvanus* (Tenreiro et al. 1999, and *Thermus chliarophilus* (Tenreiro et al. 1995) to *Meiothermus* gen. nov. as *Meiothermus ruber* comb.nov., *Meiothermus silvanus* comb. nov., and *Meiothermus chliarophilus* comb. nov., Respectively, and Emendation of the Genus *Thermus*. *International Journal of Systematic Bacteriology* 46(2), 604-606.

Ramana V.C., Sasikala C. (2009). *Albidoferax*, a new genus of *Comamonadaceae* and reclassification of *Rhodoferrax ferrireducens* (finneran et al., 2003) as *Albidoferax ferrireducens* comb. nov. *Journal of General and Applied Microbiology* 55, 301-304.

Rossau R., Van Landschoot A., Gillis M., De Ley J. (1991). Taxonomy of *Moraxallaceae* fam. nov., a new bacterial family to accommodate the genera *Moraxella*, *Acinetobacter*, and *Psychrobacter* and related organisms. *International Journal of Systematic Bacteriology* 41(2), 310-319.

bacter, and *Psychrobacter* and related organisms. *International Journal of Systematic Bacteriology* 41(2), 310-319.

Szabó A., Korponai K., Kerepesi Cs., Somogyi B., Vörös L., Bartha D., Márialigeti K., Felföldi T. (2017). Soda pans of the Pannonian steppe harbor unique bacterial communities adapted to multiple extreme conditions. *Extremophiles* 21, 639-649.

Szuróczi S., Kéki Zs., Káli Sz., Lippai A., Márialigeti K., Tóth E. (2016). Microbial investigations on the water of a thermal bath at Budapest. *Acta Microbiologica et Immunologica Hungarica* 63(2), 229-241.

Takai K., Kobayashi H., Nealson K.H., Horikoshi K. (2003). *Sulfurihydrogenibium subterraneum* gen. nov., sp. nov., from a subsurface hot aquifer. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* 53, 823-827.

Tóth E., Szuróczi S., Kéki Zs., Bóka K., Szili-Kovács T., Schumann P. (2017). *Gellertiella hungarica* gen. nov., sp. nov., a novel bacterium of the family *Rhizobiaceae* isolated from a spa in Budapest. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* 67, 4565-4571.

Vargha M., Róka E., Barna Zs., Kiss Cs., Kern A. (2015). Magyarországi fürdők mikrobiológiai vízminősége. - Országos Közegészségügyi Központ Országos Környezetegészségügyi Igazgatóság Vízhigiénés osztály. Magyar Fürdőszövetség Közgyűlés 2015; 1-6.

Wood AP, Kelly DP. (1988). Isolation and physiological characterisation of *Thiobacillus aquaesulis* sp. nov., a novel facultatively autotrophic moderate thermophile. *Archives of Microbiology* 149,339-343.

Yamada T., Sekiguchi Y., Hanada S., Imachi H., Ohashi A., Harada H., Kagamata Y. (2006). *Anaerolinea thermomosa* sp. nov., *Levilinea saccharolytica* gen. nov., sp. nov. and *Leptolinea tardivitalis* gen. no., sp. nov., novel filamentous anaerobes, and description of the new classes *Anaerolineae* classis nov. and *Caldilineae* classis nov. in the bacterial phylum *Chloroflexi*. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* 56, 1331-1340.

Ziemke F., Höfle M.G., Lalucat J., Rosseló-Mora R. (1998). Reclassification of *Shewanella putrefaciens* Owen's genomic group II as *Shewanella baltica* sp. nov. *International Journal of Systematic Bacteriology* 48, 179-186.

A SZERZŐK



LIPPAI ANETT Biológus, MSc diplomáját az ELTE Mikrobiológiai Tanszékén szerezte meg 2012-ben. A KVI-PLUSZ Kft biológusa, ahol környezeti minták mikrobiológiai vizsgálatával foglalkozik, emellett az ELTE Mikrobiológiai Tanszékének III. éves PhD hallgatója. Kutatási témája a budapesti gyógyfürdők mikrobiológiai vizsgálata.

SZABÓ ATTILA Biológus, az Eötvös Loránd Tudományegyetem Mikrobiológiai Tanszékén a Genomikai Laboratórium munkatársa. Kutatási területe a különféle környezetekben előforduló mikrobaközösségek feltárása, kapcsolatrendszerük vizsgálata. Elsősorban genomikai, metagenomikai módszerekkel és az ezekkel kapott adatok bioinformatikai és statisztikai elemzésével foglalkozik.

FELFÖLDI TAMÁS Biológus, PhD fokozatát az Eötvös Loránd Tudományegyetem Mikrobiológiai Tanszékén szerezte meg, az ELTE adjunktusa, a Genomikai Laboratórium vezetője. Jelenlegi kutatási területe természetes vizes élőhelyek mikrobiális ökológiáját és gerinctelenek molekuláris taxonómiáját öleli fel, amiket új fajok leírása egészít ki.

Dr. TÓTH ERIKA Biológus, mikrobiológus az ELTE Mikrobiológiai Tanszékének habilitált egyetemi docense, tanszékvezető. Oktat az alap, mester és doktori képzésben. Kutatási területei a mikrobiális ökológia területén első sorban vizes élőhelyek (természetes és mesterséges vizek) bakteriális közösségeinek vizsgálatát ölelik fel. A kemotaxonómiai labor vezetője, jelentős publikációi vannak a prokarióta taxonómia témakörében is. Tagja az ICSP (International Committee on Systematics of Prokaryotes) delegátusának és a Magyar Mikrobiológiai Társaság Ellenőrző Bizottságának.

Halak testhossz-függő mikroélőhely-használata középhegységi patakokban: esettanulmány a Zala vízgyűjtőjén

Maroda Ágnes*, Sály Péter**

Pécsi Tudományegyetem, Természettudományi Kar, Hidrobiológiai Tanszék, 7624 Pécs, Ifjúság útja 6.

*maroda.agnes@gmail.com; **psaly@gamma.ttk.pte.hu

Kivonat

A halak testhossza az életük előrehaladtával számottevően megnövekszik. A különböző méretű egyedek rátermettsége eltérő élőhelyi feltételek mellett lehet magas, még akkor is, ha azonos fajhoz tartoznak. Bár a halak térbeli eloszlási mintázatát befolyásoló tényezők nagyobb térléptékek, például gázló-medence mezohabitat-egységek mentén viszonylag jól feltártak, a testhosszhoz kapcsolódó mikroléptékű eloszlási mintázatokat befolyásoló élőhelyi tényezőket kevésbé ismerjük. Kutatásunkban halfajok méretcsoportjainak mikroléptékű (~ 1 m²) élőhely-használatát vizsgáltuk két kisvízfolyásban feltáró és leíró jelleggel. Az egyedeket testhossz-gyakorisági eloszlásuk alapján faj-méretcsoportokba soroltuk. Három faj juvenilis méretcsoportja (domolykó, fűrészes cselle, fenékjáró küllő), illetve két faj felnőtt méretcsoportja (domolykó, fenékjáró küllő) esetén találtunk hasonló élőhelyhasználati mintázatot. A fajok közül csak a kövicsiknél látszott a méretű fiatal, és a nagyméretű felnőtt egyedek élőhely-használati mintázata között elkülönülési trend. Az abiotikus változók közül az átlagos vízmélység, átlagos áramlási sebesség, a homokos aljzat százalékos aránya és az aljzat változatossága bizonyult a legfontosabb mikroélőhelyi változónak. A kutatást további középhegységi kisvízfolyásokra kiterjesztve folytatjuk.

Kulcsszavak

Mikroélőhely-használat, méretcsoportok, élőhelyi változatosság, középhegységi patakok

Size-dependent microhabitat use of fishes in medium mountain streams: a case study on Zala catchment

Abstract

Body size of fishes can increase remarkably throughout their life. Fitness of different sized fish can depend on the environmental conditions of the habitats even if the individuals belong to the same species. Abiotic factors influencing the spatial distribution of fish at catchment or mezo-habitat scale (e.g. riffle-pool sequences) are well known, but there is much less information on the size-related habitat use at fine spatial scales. In our study, we examined the size-dependent fish-microhabitat associations in two medium mountains streams, in mid-Summer 2016. Point-abundance sampling was applied in 50 patches per stream to catch fish, and average depth, average velocity, substrate composition and distance from bank of the patches were recorded as microhabitat characteristics. Fishes were classified into size groups according to the length-frequency distribution of the species. This procedure resulted in species-size groups. The abundances of the species-size groups were used as the dependent variables, whereas the microhabitat characteristics as descriptor variables of the study. Hellinger transformed abundance data were analysed with redundancy analysis, a constrained ordination method. Results suggested similar microhabitat use pattern for the small-sized juveniles of the chub (*Squalius cephalus*), European minnow (*Phoxinus phoxinus*) and gudgeon (*Gobio gobio*), and for the large-sized adults of the chub and gudgeon. Distinct within-species microhabitat use was found only for the stone loach (*Barbatula barbatula*). Juvenile stone loaches were associated to shallow, diverse-bottomed patches near the bank, whereas the adult mainly occurred in average depth patches located in middle channel. In general, the observed patterns were not very clear-cut. Mean velocity and depth of the patches, substrate diversity, percentage of sand seemed to be the most relevant characteristics of the microhabitats that influenced the spatial distribution of the species-size groups. It would seem that body size though can be more important than species identity in microhabitat use, however, the associations are typically weak. We continue the investigation with inclusion new streams.

Keywords

Microhabitat use, size classes, habitat diversity, medium mountains streams.

BEVEZETÉS

A halak testhossza életük során akár nagyságrendekkel is növekedhet. Az egyedi testméret befolyásolja a táplálkozást (Specziár 2009), és szerepe lehet a ragadozók elkerülésének sikerességében. Ezért a különböző testmérettel rendelkező halaknak eltérő lehet az élőhely-preferenciája, akár még a fajokon belül is (Grossman és Freeman 1987). Watkins és társai (1997) a 0+ és annál idősebb halak mikroélőhely-használatát vizsgálták angliai karsztos vízfolyásokban. Eredményeik szerint a fűrészes cselle (*Phoxinus phoxinus*), a fejes domolykó (*Squalius cephalus*), a fenékjáró küllő (*Gobio gobio*) és a márna (*Barbus barbus*) esetében különbözik a 0+ és az annál idősebb egyedek mikroélőhelyi preferenciája. A 0+

korcsoport inkább a sekély, kevésbé áramló élőhely-foltokban, míg az 1+ és annál idősebb egyedek a parttól távolabb, a meder közepénél lévő mélyebb, gyorsabb áramlású foltokban fordultak elő. Copp és társai (2004, 2010) az élőhelyi változókkal szembeni preferenciaváltást mutattak ki, mely a halak korával (ezáltal méretükkel) állt kapcsolatban.

A halegyüttesek térbeli szerveződését befolyásoló élőhelyi tényezők nagyobb, vízgyűjtő, illetve mezo-habitat léptékek mentén alaposan kutatottak (pl. Erős 2001 és 2007, Sály és társai 2011). Ehhez képest a testhossz-függő, finom térlépték mentén jellemző szerveződési mintázatok kevésbé ismertek. Kutatásunkban leíró és

feltáró jelleggel középhegységi kisvízfolyásokban vizsgáltuk meg a halak méret-függő mikroélőhely-használatát. Figyelmünket a következő kérdésekre irányítottuk: 1) mely élőhelyi változók befolyásolják leginkább a mikroélőhely-használatot; 2) van-e különbség a fajok között a mikroélőhely-használatban; 3) van-e elkülönülés a fajokon belül a különböző méretű halak mikroélőhely-használatában?

ANYAG ÉS MÓDSZERTAN

Az adatgyűjtés a Zalán Őriszentpéternél (EOV_Y 451233; EOV_X 169006), valamint a Szentjakab-patakon Felsőjánosfánál (EOV_Y 459645; EOV_X 169829) történt 2016. július 20-án és augusztus 3-án. Mindkét kijelölt mintavételi szakasz középhegységi jellegű, jól fejlett gázló-medence szerkezettel rendelkeznek. A patakokat vegyes korú és állományú lombhullató erdő kísérte. A mintavételi szakaszokon ötven darab 1 m²-es mintavételi foltokat jelöltünk ki, ezeket tekintettük mikroélőhelyi egységeknek. A foltokon belül a halállomány mintázása pont-bőség mintavétellel (Copp és Penáz 1988) történt. A fogott halakat standard testhosszuk lemérését követően visszaengedtük élőhelyükre. A halak mintavételezését követően rögzítettük a folt abiotikus adatait.

Abiotikus adatok

A mintavételi folton belül öt ponton mértük a vízsebességet, vízmélységet, vizuálisan megbecsültük az aljzatösszetételt, valamint mértük a mintavételi foltok egymástól és a vízfolyás jobb partjától való távolságát. Feljegyeztük a mederben lévő durva fás törmelék illetve a finom növényi törmelék százalékos borítását a mintavételi kvadrátban. A mért vízsebességeknek és vízmélységeknek kiszámítottuk az átlagos értékét, a variációs koeficiensét, valamint az aljzat diverzitására Shannon-diverzitási indexet számítottunk. A mintavételi pontnak a vízfolyás jobb partjától való távolságát átszámítottuk százalékos értékévé úgy, hogy a minél távolabb van a parttól, annál nagyobb ez az érték, a meder középvonalánál lévő kvadrátoknak ezen távolság értéke 100 % volt, a parttól fél méteres távolságra pedig 0 % volt (Pekárik és társai 2012).

Haladatok

A fogott halfajok közül a legnagyobb tömegességgel jelenlévő fajok a kövi csík (*Barbatula barbatula*), a fenékjáró küllő (*Gobio gobio*), a fűrges cselle (*Phoxinus phoxinus*) és a fejes domolykó (*Squalius cephalus*). Kis egyedszámmal reprezentált fajok a szélhajtó kűsz (*Alburnus alburnus*), a sügér (*Perca fluviatilis*) és a szivárványos ökle (*Rhodeus sericeus*) voltak. A fogott egyedek testhossz-gyakorisági eloszlása alapján a négy leggyakoribb faj esetében méretcsoportokat alakítottunk ki (1. táblázat). Az egyedeket a standard testhosszuknak megfelelően a kialakított méretcsoportokba soroltuk, és az ily módon kapott faj-méretcsoportok képezték a vizsgálatunk függő változóit.

Adatelemzés

A feltáró adatelemzéseket követően a kis egyedszám miatt a további elemzésből kizártuk a szélhajtó kűsz, a sügeret és a szivárványos öklét. A gyakori fajokat testhossz-gyakorisági eloszlásuk vizuális vizsgálatát követően

en méretcsoportokba soroltuk (1. táblázat). A faj-méretcsoportok Hellinger transzformált (Legendre és Gallagher 2001) relatív bőség adatait függő változóként, a mintavételi foltok abiotikus változóit leíró változóként használva, a faj-méretcsoportok és a mikro-élőhelyi jellemzők közti kapcsolatokat redundancia analízissel (RDA) vizsgáltuk (Podani 1997). Az abiotikus változók modellbeli magyarázó erejét teszteléséhez permutációs tesztet alkalmaztunk, a random ismétlési ciklusok száma 999 volt (Legendre és Legendre 1998). A tesztek szignifikancia szintje $\alpha = 0.05$ volt.

1. táblázat. A fogott egyedek testhossz-gyakorisági eloszlása alapján kialakított méretcsoportok. Első oszlopban a kialakított faj-méretcsoportok jelölése (a faj tudományos nevének első és második tagjának első három betűjéből lett képezve a jelölés első tagja, a második tagja a méretcsoportot jelölő szám), másodikban a kialakított méretcsoportok mérettartománya balról nyílt és jobbról zárt intervallumokkal megadva, a harmadik oszlopban az adott méretcsoportba sorolt egyedek száma látható

Table 1. Size-classes established on the bases of the length frequency distribution of the species. First column contains the notation of the species-size groups. Second column shows the size-classes as right-closed intervals. Third column contains the number of individuals classified into a given species-size group

faj-méretcsoport	mérettartomány (mm)	egyedszám
squcep_1	(0,50)	15
squcep_2	(50, 105)	24
squcep_3	(105, 250)	69
phopho_1	(0, 30)	35
phopho_2	(30, 70)	25
ortbar_1	(0, 55)	141
ortbar_2	(55, 115)	18
gobgob_1	(0, 55)	38
gobgob_2	(55, 120)	88

EREDMÉNYEK

Az RDA modell permutációs tesztjei szerint a mikroélőhely-használat eloszlását leginkább befolyásoló abiotikus tényezők az átlagos vízmélység, az átlagos vízsebesség, az aljzatdiverzitás és az aljzatban a homokfrakció százalékos aránya voltak (2. táblázat).

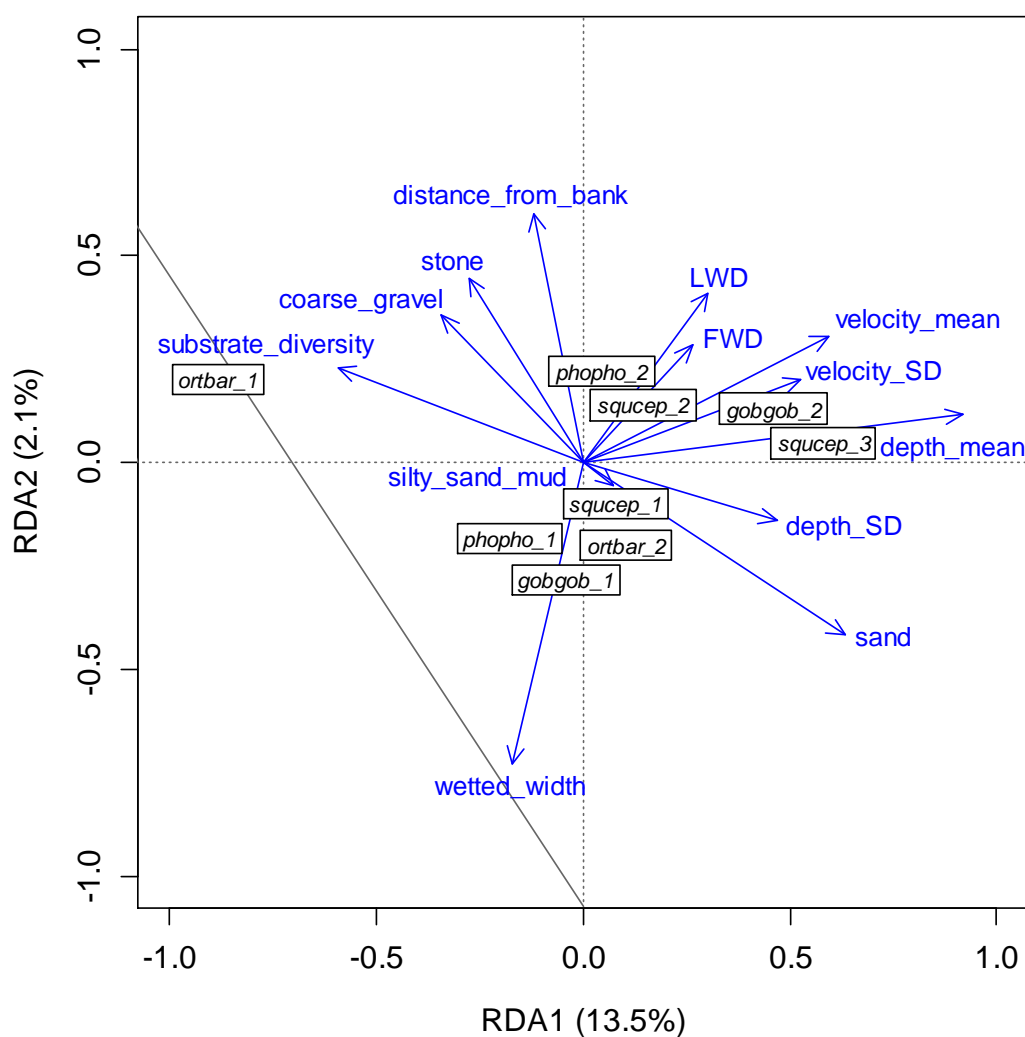
A fajok között egyértelmű elkülönülési mintázatokat, azaz olyan mintázatot, mely esetén egy faj összes méretcsoportja a többi faj méretcsoportjaitól jelentősen más típusú élőhelyei foltokban fordult volna elő, nem találtunk (1. ábra).

Hasonló mikroélőhely-használati eloszlást mutattak viszont a domolykó, a fűrges cselle, a fenékjáró küllő fiatal, kisméretű egyedei, illetve a domolykó és a fenékjáró küllő felnőtt, nagyméretű egyedei.

Fajon belül a méretcsoportok elkülönült mikroélőhely-használatára utaló mintázat csupán a kövicsíknál mutatkozott. A fiatal, kisméretű kövicsíkok elsősorban a partszegélyben levő sekély, változatos aljzat-összetételű foltokban, míg a felnőtt, nagyméretű kövicsíkok főleg a meder közepén levő átlagos mélységű foltokban voltak jellemzőek. A nagyméretű kövicsíkok jellemző előfordulási mikroélőhelyei a juvenilis domolykó, fűrges cselle és fenékjáró küllő jellemző előfordulási mikroélőhelyeihez volt hasonló (RDA modell, $R^2 = 31.8\%$, korrigált $R^2 = 18.6\%$) (2. ábra).

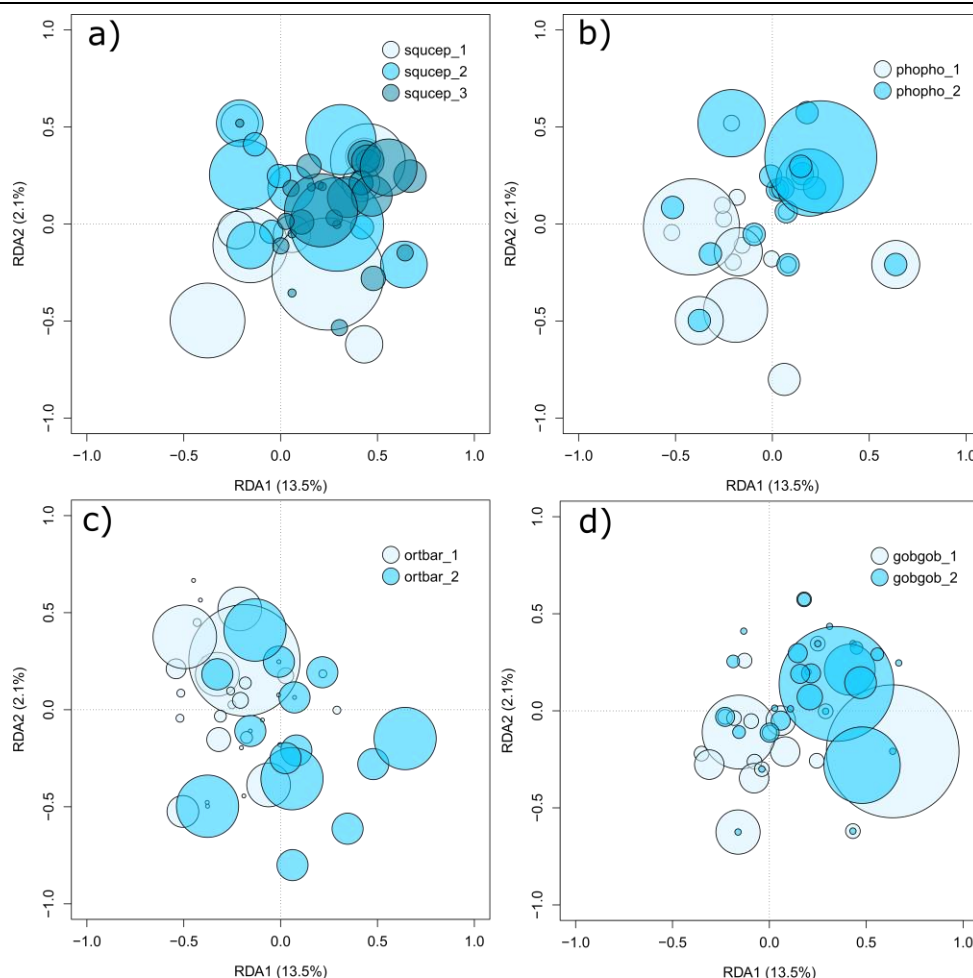
2. táblázat. A mikroélőhelyi változók permutációs szignifikancia tesztjeinek eredménye
 Table 2. Result of permutation significance tests of the abiotic variables

élőhelyi változó jele (angol megnevezése)	élőhelyi változó neve	F-érték	p-érték
depth_mean	átlagos vízmélység	10.253	0.001
depth_SD	vízmélység szórás	1.486	0.199
velocity_mean	átlagos vízsebesség	3.585	0.002
velocity_SD	vízsebesség szórása	0.567	0.773
wetted_width	víztükrörszélesség	1.795	0.107
distance_from_bank	parttól való távolság	1.011	0.379
silty_sand_mud	homokos iszap %-os aránya	1.406	0.213
sand	homok %-os aránya	3.804	0.003
coarse_gravel	durva kavics %-os aránya	1.039	0.387
stone	kő %-os aránya	1.319	0.226
substrate_diversity	aljzat diverzitása	2.354	0.047
LWD (coarse particulate organic matter)	durva fás törmelék	1.058	0.371
FWD (fine particulate organic matter)	finom fás törmelék	1.559	0.137



1. ábra. A mikroélőhelyi változók és a faj-méretcsoportok közötti kapcsolatokat leíró redundancia analízis modell első két kanonikus tengelye szerinti ordinációs ábra. A nyilak az élőhelyi változókat (lásd 2. táblázat), a bekeretezett szövegrészek pedig a faj-méretcsoportok eloszlásának centroidjai jelölik (lásd 1. táblázat)

Figure 1. Ordination biplot of a redundancy analysis model describing the associations between the abiotic microhabitat variables (arrows) and the species-size groups. Arrows represent the abiotic variables, framed labels stand for the notation of the species-size groups



2. ábra. A fajok méretcsoportjainak eloszlási mintázata relatív bőség alapján. a) fejes domolykó (*Squalius cephalus*), b) fűrges cselle (*Phoxinus phoxinus*), c) kövi csík (*Barbatula barbatula*, szinonim neve: *Orthrias barbatulus*), d) fenékjáró küllő (*Gobio gobio*)
 Figure 2. The distributional pattern of species-size groups based on their relative abundance. a) chub (*Squalius cephalus*), b) European minnow (*Phoxinus phoxinus*), c) stone loach (*Barbatula barbatula*, synonymous name: *Orthrias barbatulus*), d) gudgeon (*Gobio gobio*)

ÉRTÉKELÉS

Eredményeink alapján a legfontosabb mintázat kialakító élőhelyi változók az átlagos vízmélység, az átlagos vízsebesség, az aljzat diverzitása, valamint az aljzatban a homok frakció százalékos aránya. Ezek a változók nagyobb térléptékek mentén is jelentősek a halegyüttesek térbeli szerkezetének kialakításában (pl. Sály és társai 2011i). A vízmélység dombvidéki kis folyók halegyütteseinek és meghatározó tényezője a halak mikroélőhely-használatának. Azonban a vízsebességgel és az aljzatösszetétellel szemben a mikroélőhely-folt parttól való távolsága és a búvóhelyet nyújtó sziklák jelenléte fontosabb élőhelyhasználati változónak tűnik (Pekárik és társai 2012).

Az eredményekben bemutatott mikroélőhely-használati mintázatok, tekintettel az RDA mérsékelt magyarázó erejére, alapvetően trend jellegű kapcsolatokat tükröznek. Ezek alapján úgy tűnik, hogy a testhossz fontosabb tényező lehet a mikroélőhely használat kialakításában, mint a faji identitás, habár a mikroélőhelyi-változók és a faj-méretcsoportok közötti asszociációk a középhegységi patakokban jellegükénél fogva gyenge kapcsolatok. A jelenlegi eredmények pontosabb megérté-

se céljából a kutatásunkat további középhegységi halegyüttesek vizsgálatára is kiterjesztjük.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönetet mondunk a terepi adatgyűjtésekhez nyújtott anyagi támogatásért:

OTKA K104279 számú kutatás, témavezető Erős Tibor. Az Emberi Erőforrások Minisztériuma ÚNKP-17-2-I kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának támogatásával készült.

IRODALOM

- Copp G.H., Penáz M. (1988). Ecology of fish spawning and nursery zones in the flood plain, using a new sampling approach. *Hydrobiologia* 169, 209–224.
- Copp G.H., Vilizzi L. (2004). Spatial and ontogenetic variability in the microhabitat use of stream-dwelling spined loach (*Cobitis taenia*) and stone loach (*Barbatula barbatula*). *Journal of Applied Ichthyology* 20, 440–451.
- Copp G.H., Kovác V., Sírýová S. (2010). Microhabitat use by stream-dwelling spirlin *Alburnoides bipunctatus* and accompanying species: implications for conservation. *Folia Zoologica* 59 (3), 240–256.

Erős T. (2001). Abiotikus paraméterek hatása hal-együttesek szerveződésére egy középhegységi vízfolyásban. *Hidrológiai Közlöny* 81(5-6).356–357.

Erős T. (2007). Partitioning the diversity of riverine fish: the roles of habitat types and non-native species. *Freshwater Biology* 52(7), 1400–1415.

Grossman G.D., Freeman M.C. (1987). Microhabitat use in a stream fish assemblage. *Journal of Zoology* 212, 151–176.

Legendre P., Gallagher E.D. (2001). Ecologically meaningful transformations for ordination for species data. *Oecologia* 129, 271–280.

Legendre P., Legendre L. (1998). Numerical ecology. 2nd English Edition. Amsterdam: Elsevier Science BV. XV+p. 853.

Pekárik L., Kosco J., Svátora M. (2012). Reference conditions for fish microhabitat use in foothill streams: a

case study on undisrupted Carpathian streams. *River Research and Applications* 28, 369–376.

Podani J. (1997). Bevezetés a többváltozós biológiai adatfeldolgozás rejtelmeibe. Scientia Kiadó, Budapest.

Sály P., Takács P., Kiss I., Bíró P., Erős T. (2011). The relative influence of spatial context and catchment- and site-scale environmental factors on stream fish assemblages in a human-modified landscape. *Ecology of Freshwater Fish* 20(2), 251–262.

Speciár A., Rezsű E.T. (2009). Feeding guilds and food resource partitioning in a lake fish assemblage: an ontogenetic approach. *Journal of Fish Biology* 75, 247–267.

Watkins M.S., Doherty S., Copp G.H. (1997). Microhabitat use by 0+ and older fishes in a small English chalk stream. *Journal of Fish Biology* 50, 1010–1024.

A SZERZŐK



MARODA ÁGNES A Szent István Egyetem Állatorvos-tudományi Karán végezte a biológia alapképzést, szakdolgozata során a fluktuáló aszimmetria és a tájhasználat kapcsolatának vizsgálatával foglalkozott. Jelenleg a Pécsi Tudományegyetem Természettudományi Karának hidrobiológus mesterképzésén folytatja tanulmányait Sály Péter témavezetésével.

SÁLY PÉTER A Szent István Egyetem Környezettudományi Doktori Iskolájában szerzett doktori fokozatot Erős Tibor és Kiss István témavezetésével. A Szent István Egyetem Állattani Tanszékén 2013-ig volt egyetemi oktató, majd az MTA ÖK Balatoni Limnológiai Intézetének volt tudományos munkatársa. Jelenleg a Pécsi Tudományegyetem Természettudományi Karán oktat. Elsődleges kutatási érdeklődése a folyóvízi halak közösségökölógiája és természetvédelme.

A Máramarosi-medence sós tavainak baktériumközösségei

Megyes Melinda*, Aszalós Júlia Margit*, Móga János**, Márialigeti Károly*, Borsodi Andrea*

* ELTE Eötvös Loránd Tudományegyetem, Mikrobiológiai Tanszék, Pázmány Péter sétány 1/c, 1117 Budapest

** ELTE Eötvös Loránd Tudományegyetem, Természetföldrajzi Tanszék, Pázmány Péter sétány 1/c, 1117 Budapest

Kivonat

Az utóbbi időben egyre nagyobb figyelem irányul a szárazföldi sós környezetek mikrobiotájának megismerésére annak érdekében, hogy megérthessük az ún. sótűrő és sókedvelő mikroorganizmusoknak ezekben a különleges ökoszisztémákban betöltött szerepét. A kárpátaljai Aknaszlatinán (Ukrajna) és Aknasugatagon (Románia) a felszínhez közeli sótörmzs oldódásával keletkezett dolinák vízzel való telítődése számos sós tó képződését eredményezte. Az Erdélyi-medencében található sóvidékekkel ellentétben, a Máramarosi-medence sókarsztja kevésbé tanulmányozott. Az általunk vizsgált aknasugatagi és aknaszlatinai tavakban a sókoncentráció 0,4 és 253 ppt között változik. Tenyésztéses és molekuláris ujjlenyomat módszereket alkalmaztunk a sóbányák helyén található tavakból gyűjtött víz- és üledékminták baktériumközösségének feltárására és összehasonlítására. A molekuláris ujjlenyomat mintázatok alapján a minták között területi elkülönülést és a tavak szalinitása szerinti csoportosulást egyaránt kimutatható volt. A tengervizes táptalajról nyert közel 200 izolátum az Actinobacteria, a Bacteroidetes, a Firmicutes és a Proteobacteria törzsekbe tartozó, eltérő NaCl-toleranciával jellemezhető fajok képviselőinek bizonyult, melyek jól mutatják a változatos sókoncentrációjú élőhelyekhez való alkalmazkodást.

Kulcsszavak

Sós tavak, sókarszt, sóbánya, baktériumközösség, DGGE.

Halophilic bacterial communities inhabiting salt lakes in the Maramureş Basin

Abstract

Terrestrial saline environments have received a lot of attention recently to understand the role of halotolerant and halophilic microorganisms in these exceptional ecosystems. The constant dissolution of salt body led to the forming of different types of dolines in Solotvyno (Ukraine) and Ocna Şugatag (Romania). As time passed, these dropout dolines filled up with water and eventually became salt lakes. Unlike the noted saline lakes located in the so-called Salt-Region of Transylvanian Basin in Romania, the saltkarsts of Maramureş Basin are poorly studied. The studied lakes located in Solotvyno and Ocna Şugatag are characterized by a salinity gradient between 2 ppt and 253 ppt. Culture-dependent and molecular fingerprints methods were applied to reveal and compare the unknown bacterial communities of water and sediment samples collected from former salt mines. Molecular fingerprints from the two sites are separated according to territorial basis and salinity of the lakes. Nearly 200 strains were isolated from Sea Water medium and identified as representatives of various genera of phyla Actinobacteria, Bacteroidetes, Firmicutes and Proteobacteria. The isolates characterized by different degrees of salt tolerance reflect their adaptation to wide range of salt concentrations.

Keywords

saline lakes, salt karst, salt mine, bacterial community, DGGE.

BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉS

Az egymástól 20 km-re található, az ukrán-román határ két oldalán fekvő Aknaszlatina és Aknasugatag több évszázados múltra tekinthet vissza a sóbányászatban. A települések alatt több kilométer hosszú, több száz méter vastag sótörmzsök rejlnek, melyek a miocén kori óceán elpárolgásával keletkeztek. Az erre települt bányák befulladását, majd végső bezárását a folyamatosan betörő felszíni vizek okozták. A bányák helyén a kioldódó sótest feletti talaj lezökkenésével napjainkban is dolinák és sós tavak keletkeznek. A képződési folyamatok általában évszázadok alatt játszódhatnak le, azonban az emberi tevékenység ezt az időt akár hetekre, napokra is lerövidítheti (Móga és társai 2015).

A máramarosi-medenceihez hasonló, romániai sókarsztokon kialakult sós tavak baktériumközösségeiről már viszonylag széleskörű ismeretekkel rendelkezünk korábbi tenyésztéses és molekuláris biológiai módszerekkel végzett vizsgálatok alapján (Borsodi és társai 2010 és 2013, Crognale és társai 2013, Carpa és társai 2014, Máthé és társai 2014, Andrei és társai 2015). A prokarióta közösség Archaea (*Enache és társai 2008*,

Borsodi és társai 2013, Máthé és társai 2014, Baricz és társai 2014 és 2015) és planktonikus (*Keresztes és társai 2012, Somogyi és társai 2014*) csoportjainak diverzitása is feltárt egyes tavak esetében.

Jelen kutatás célja a Máramarosi-medencében található sókarsztokon képződött, eltérő szalinitású, korú, méretű és felhasználású tavakban élő és ez idáig még nem vizsgált baktériumközösségek taxonómiai diverzitásának a megismerése volt.

ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

A mintavételre 2016 júliusában került sor. Az aknaszlatinai sókarsztról összesen 11 (1-11), Aknasugatagon 9 (12a-17) különböző helyszínről származtak a víz- és üledékminták (*1. ábra*). A mintavételi helyek kijelölésekor a minél inkább eltérő vizes élőhelyek kiválasztására törekedtünk. A mintázott helyek között található hiperszalínikus fürdő (10), eltérő méretű (pl. 6, 11), korú (pl. 4, 10), hasznosítású (pl. 6, 10, 14) tó, a sórétegtől agyagos borítással elzárt pocsolya (pl. 7, 8, 9), valamint összehasonlításképp egy sós patak (17). A tavak főbb fizikai és kémiai tulajdonságait az *1. táblázat*-

ban részletezzük. A tavak vízhőmérséklete a mintavétel idején 24,5 C és 29,1°C között változott.



1. ábra. A legsósabb aknaszlatinai mintavételi helyszín, a Kunigunda strand (10)

Figure 1. The saltiest sampling site in Solotvyno, the Lake Kunigunda (10)

A különböző baktériumközösségek molekuláris ujjlenyomatának vizsgálatára a DGGE (denaturáló gradienselektroforézis) módszert választottuk. Az elektroforézis alatt az előzőleg nested PCR során felszaporított azonos hosszúságú, duplaszálú DNS fragmentumok poliakrilamid gélben a denaturálószer (urea és formamid) gradiense mentén eltérő bázisösszetételük alapján szétválnak. Az egyes minták DGGE mintázatai - mint ujjlenyomatok - a közösségszerkezetek összehasonlítására használhatók fel (Muyzer és Smalla 1998).

Mind a víz-, mind az üledékmintákból való tenyésztéshez Sea Water tápagart (DSMZ 246) használtunk. Az egy hét inkubáció után izolált törzseket 16S rRNS génjük PCR termékeinek ARDRA (amplifikált riboszómális DNS restrikciós analízis) módszerrel nyert hasítási mintázata alapján csoportosítottuk. Az egyedi mintázattal rendelkező reprezentáns törzsek bázissorrendjét Sanger-módszerrel határoztuk meg, majd azokat az EzBioCloud referencia adatbázissal vetettük össze a törzsek azonosításához.

1. táblázat. Az aknaszlatinai és aknasugatagi vízminták fizikai-kémiai paramétereit (KOI: kémiai oxigénigény)

Table 1. Physico-chemical characteristics of water samples from Solotvyno and Ocna Șugatag (KOI: chemical oxygen demand)

Minta	pH	só konc. (ppt)	fajl.el. vez.kép. (mS/cm)	NH ₄ ⁺ (mg/L)	NO ₂ ⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	PO ₄ ³⁻ (mg/L)	Fe (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	KOI (O ₂ mg/L)
1	7,46	18,35	25,8	0,34	<0,01	12,6	<0,01	<0,01	271	16300	165
2	7,43	16,15	25,0	1,40	<0,01	12,2	0,16	<0,01	303	9900	5
3	8,15	16,80	24,1	0,42	<0,01	6,5	<0,01	<0,01	204	10600	5
4	8,27	15,85	24,3	1,78	<0,01	6,5	2,13	<0,01	211	9200	30
5	7,68	16,40	24,1	0,53	<0,01	10,1	<0,01	<0,01	206	8500	75
6	8,04	9,16	15,3	0,15	<0,01	5,9	<0,01	<0,01	86	5700	95
7	7,45	2,20	2,7	0,27	<0,01	2,2	<0,01	<0,01	1365	60	0
8	7,55	2,77	2,6	0,40	<0,01	2,0	<0,01	<0,01	1451	50	10
9	7,43	2,02	2,6	0,19	<0,01	2,7	0,09	<0,01	1310	100	16
10	6,87	253,50	218	2,16	0,003	10,3	<0,01	<0,01	1351	99000	300
11	6,91	8,23	12,1	1,77	0,192	10,4	0,21	0,42	213	5000	35
12a	8,10	0,69	1,1	0,1	<0,01	27,2	0,3	0,1	13,1	300,0	35,0
12b	8,16	0,70	1,1	0,1	<0,01	23,9	0,5	0,8	12,0	360,0	17,0
13a	8,25	0,43	0,7	0,1	<0,01	5,3	0,1	<0,01	56,0	1100,0	22,0
13b	7,98	0,44	0,7	0,2	<0,01	5,7	2,1	<0,01	66,4	1000,0	13,0

EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

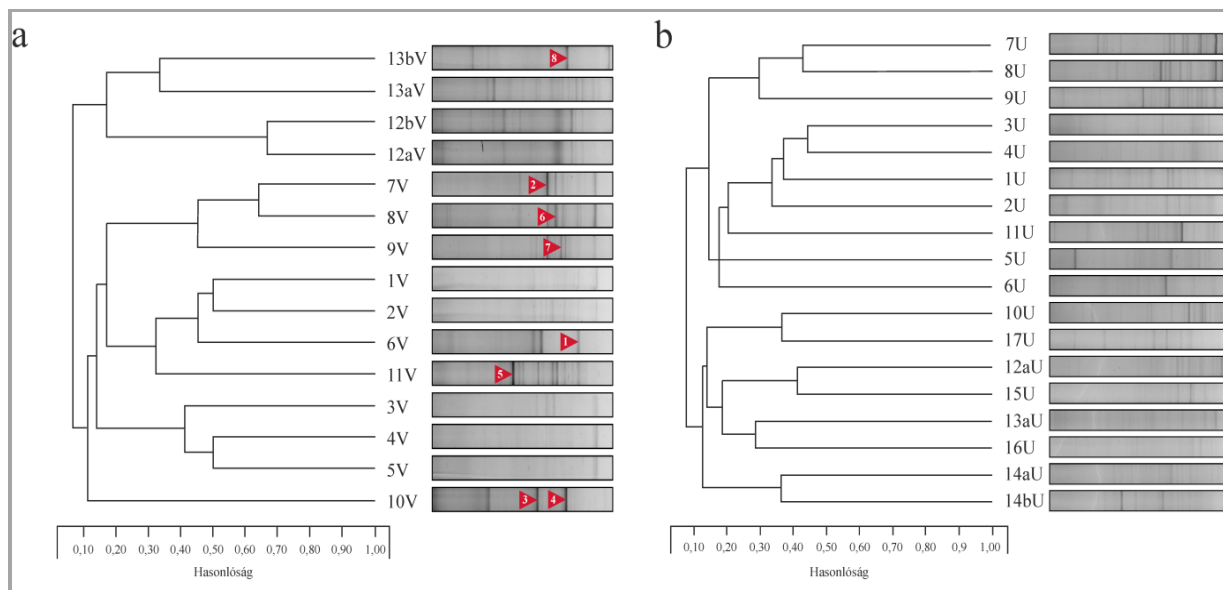
A baktérium-specifikus DGGE során kialakult molekuláris ujjlenyomat mintázatok és azok összehasonlításán alapuló dendrogramok szemléltetik a különböző mintavételi helyek baktériumközösségének a szerkezetét. A DGGE vizsgálatban összesen 18 üledékmintát (11 aknaszlatinai, 7 aknasugatagi), valamint 15 vízmintát (11 aknaszlatinai, 4 aknasugatagi) hasonlítottunk össze. A vízmintákban 117 (2.a ábra), az üledékmintákban 62 (2.b ábra) egyedi csíkot detektáltunk, ami ugyanennyi egymástól különböző bázisösszetételű 16S rRNS gén jelenlétére utalt. A víz- és üledékminták molekuláris ujjlenyomat mintázatai elsősorban a tavak földrajzi elhelyezkedése és a vizek NaCl koncentrációja szerint csoportosultak. Az egyes vízminták közti hasonlóságok általában nagyobbak voltak, mint az üledékminták között, ami

a vízminták esetében a szél átkeverő hatásával és az üledékmintákra általánosan jellemző nagy heterogenitással is magyarázható.

Mindkét dendrogramon jól látható a földrajzi elkülönülés, azaz a két helyszínről származó minták külön csoportot alkottak. Egyetlen kivétellek az üledékminták között a legnagyobb sókoncentrációjú aknaszlatinai minta (10U, Kunigunda-strand) a legsósabb aknasugatagi mintával (17U, sós patak) került egy csoportba. A vízminták dendrogramja alapján is ennek a mintavételi helynek a közössége különbözött leginkább a többitől. Az egymáshoz közel fekvő, hasonló sókoncentrációjú dolinativak (1- 6, 11) üledékének közösségei közös, de diverz csoportot alkottak, míg a vízminta dendrogramon két csoportra váltak. A 7, 8 és 9 számmal jelzett alacsony

sókoncentrációjú időszakos vizek mindkét dendrogramon élesen elkülönültek a sósabb aknaszlatinai tavaktól. A legtöbb filotípust reprezentá-

ló csíkot ezekben a gélcsíkokban detektáltuk, ami az alacsony sókoncentráció kisebb szelekciós nyomásával értelmezhető.



2. ábra. (a) A 15 vízminta DGGE mintázata alapján szerkesztett hasonlósági dendrogram (A kimetszett és később megszekvenált DNS fragmentumok piros háromszöggel vannak jelölve),

(b) A 18 üledékminta DGGE mintázata alapján szerkesztett hasonlósági dendrogram

Figure 2. (a) Similarity dendrogram of the DGGE fingerprints of 15 water samples (The excised and later sequenced DNA bands are marked with red triangle), (b) Similarity dendrogram of the DGGE fingerprints of 18 sediment samples

A vízminta DGGE gélből 8 különálló csíkot metszetünk ki, melyek közül ötöt sikerült azonosítanunk DNS bázissorrendjük alapján. Az 1 és 8 számmal jelölt DNS fragmentum az édesvizekben vízvirágzást előidéző fonalas cianobaktériummal, a *Planktothrix rubescens* fajjal mutatott hasonlóságot (Ostermaier és Kurmayer 2009). Az alacsony sókoncentrációjú időszakos víz gélcsíkjából a 2 számú fragmentumot *Limnohabitans parvus* fajként azonosítottuk, mely az irodalom szerint is legfeljebb 0,5% NaCl koncentrációt képes tolerálni (Kasalický és társai 2010). Ennél nagyobb, akár 6%-os koncentráción is szaporodni képes *Pseudomonas taiwanensis* fajjal mutatott szekvencia hasonlóságot az 5 számú DNS fragmentum (Wang és társai 2010). A 4 számú, a hiperszalinikus Kunigunda-tó gélcsíkjából kivágott DNS egy tenyésztésbe nem vont, a híres kaliforniai Halál-völgyből (Death Valley, USA) izolált törzs szekvenciájával mutatott kisfokú (<97%) egyezést.

A tenyésztés során a vízmintákban 10^3 - 10^5 TKE ml⁻¹, az üledékmintákban 10^4 - 10^6 TKE g⁻¹ nagyságrendű értékeket becsültünk. A kifejlődött telepekből 193 izolátumot hoztunk létre. Az ARDRA módszer segítségével a törzseket csoportokba osztottuk restriktációs enzimek hasítási mintázatai alapján és összesen 96 ARDRA csoport reprezentánsát szekvenáltuk és azonosítottuk. Ez alapján az izolátumok a Proteobacteria (azon belül Alpha-, Beta-, Gamma- és Epsilonproteobacteria osztályok), a Firmicutes, az Actinobacteria és a Bacteroidetes törzsekbe nyertek besorolást.

Az általunk izolált törzsek közül az irodalom szerint enyhén vagy mérsékelt halofilként jellemzett fajokat a 2. táblázatban tüntettük fel. Számos izolátum legközelebbi

rokonát tengeri környezetből (tengervíz, üledék, tengeri állat) írták le először. A tengerek 3-3,5%-os átlagos sókoncentrációjához alkalmazkodva legtöbbjük enyhén halofil, rendszerint jóval magasabb NaCl koncentráción is képes növekedni. Ilyen szélsőséges sótűrésre képes pl. a *Bacillus pakistanensis* és az *Exiguobacterium aestuarii* faj, melyek optimumuk többszörösén, 17%-os sókoncentráción is tenyésznek (Kim és társai 2005, Roohi és társai 2014). Az előbbit szintén egy sóbányából származó mintából írták le.

A legnagyobb sókoncentrációjú, hiperszalinikus Kunigunda strand (10) víz- és üledékmintáiból döntő többségben enyhén és mérsékelt halofil, széles sótűrősséggel jellemezhető baktériumokat izoláltunk. A strand mintáiból kimutatott mérsékelt halofil szervezetek mindegyike csak NaCl jelenlétében volt képes növekedni.

A sós patak (17) sókoncentrációjáról nem áll rendelkezésünkre pontos adat, viszont a helyszínen a sókiválás alapján nagy NaCl koncentrációt feltételeztünk. A sókristályokat is tartalmazó üledékből egy kivétellel mérsékelt halofil baktériumtörzseket izoláltunk. A *Halomonas fontilapidosi* és *H. ventosae* fajok legalább 3%-os NaCl koncentrációt igényelnek (González-Domenech és társai 2009, Martínez-Cánovas és társai 2004), a *H. elongata* faj pedig akár teljesen telített sókoncentrációt is tolerálja (Vreeland és társai 1980).

Az aknaszlatinai mezoszalinikus dolinátavakból (1-6, 11) izolált baktériumtörzsek elsősorban enyhén halofil baktériumfajok közeli rokonai, melyek többsége a Gammaproteobacteria osztályba tartozik. Az 5 és 6 számú tó kivételével minden esetben mérsékelt halofil baktériumtörzsek azonosítása is megtörtént.

A sótól agyagos réteggel elválasztott időszakos víz (7) volt az egyik legalacsonyabb sókoncentrációjú mintavételi hely. Ennek ellenére tág sótűrési és enyhén halofil baktériumfajokat is izoláltunk az innen származó mintákból, melyek akár 9, 13 vagy 17%-os sókoncentrációt is tolerálnak.

Az aknasugatagi tavakból csak üledékmintákat vontunk vizsgálatba, a tavak vizének fizikai-kémiai paramétereit nem ismerjük. A 14 számú tó mindkét pontján vett üledékmintákban előfordultak enyhén és mérsékelten halofil szervezetek. Ezzel ellentétben a 15 és 16 számú tavak üledékmintáiból többnyire csak halotoleráns, szűk tolerancia tartománnyal rendelkező fajokat azonosítottunk (pl. *Bacillus toyonensis*, *B. muralis*, *Microbacterium esteraromaticum*, *Rhodococcus gordoniae*).

Célunk volt eredményeinket szélesebb kontextusba helyezni, ezért azokat összehasonlítottuk a közeli, romániai sóvidékek hasonló tulajdonságú tavaiból szintén

tenyésztési vagy molekuláris biológiai módszerekkel nyert eredményekkel. Mindkét térség közös jellemzője, hogy ott athalasszohalin eredetű sós tavak találhatók, amiknek kialakulásában a sóbányászat játszott szerepet, és amiket azóta is antropogén hatások (pl. sóbányászat, fürdés) érnek. Elmondható, hogy a Máramarosi-medence tavaiban és az erdélyi sós tavakban kevés közös baktériumfajt (*Bacillus aryabhattai*, *B. hwajinpoensis*, *B. megaterium*, *B. vietnamensis*, *Halomonas fontilapidosi*, *H. ventosae*, *Marinobacter pelagius*, *Micrococcus yunnanensis*, *Planococcus rifietoensis*) ismerünk. A legtöbb faji szintű egyezést a Vörös-tóból kimutatott baktériumközösségekkel találtuk (*Borsodi és társai 2010 és 2013*). A két sóvidék sós tavaiban egyaránt előfordultak az *Arthrobacter*, a *Bacillus*, a *Flavobacterium*, a *Halomonas*, az *Idiomarina*, a *Marinobacter*, a *Microbacterium*, a *Micrococcus*, a *Planococcus*, a *Pseudoalteromonas*, a *Psychrobacter* és a *Vibrio* nemzetségek képviselői.

2. táblázat. Az egyes mintavételi helyekről tenyésztési módszerekkel kimutatott enyhén és mérsékelten halofil szervezetek összefoglaló listája

Table 2. List of slightly and moderately halophilic microorganisms detected by cultivation from the sampling sites

Minta		Enyhén halofil fajok	Mérsékelten halofil fajok
		növekedési opt.: 1-3% (0,2-0,5 M) NaCl koncentráció	növekedési opt.: 3-15% (0,5-2,5 M) NaCl koncentráció
Aknaszlatina	1	<i>Arenibacter troitsensis</i> *, <i>Bacillus pakistanensis</i> , <i>Pseudoalteromonas shioyasakiensis</i> *, <i>Pseudorhodobacter wandonensis</i> , <i>Shewanella colwelliana</i> , <i>Vibrio diazotrophicus</i>	<i>Shewanella haliotis</i>
	2	<i>Arcobacter venerupis</i> , <i>Arenibacter echinorum</i> , <i>Pseudoalteromonas tunicata</i> *	<i>Thalassospira mesophila</i> *
	3	<i>Bowmanella denitrificans</i>	<i>Idiomarina aestuarii</i> *, <i>Marinobacter lipolyticus</i> *
	4	<i>Flavobacterium beibuense</i>	<i>Bacillus haikouensis</i> , <i>Halomonas lutescens</i> , <i>Marinobacter lipolyticus</i> *, <i>Planococcus rifietoensis</i> *
	5	<i>Demequina activiva</i> , <i>Pseudoalteromonas shioyasakiensis</i> *	-
	6	<i>Rheinheimera baltica</i> , <i>Rheinheimera soli</i> , <i>Vibrio diazotrophicus</i>	-
	7	<i>Exiguobacterium aestuarii</i> , <i>Knoellia locipacati</i> , <i>Microbacterium maritipicum</i> *, <i>Pseudomonas toyotomiensis</i>	-
	10	<i>Loktanella soesokkakensis</i> , <i>Psychrobacter alimentarius</i>	<i>Bacillus hwajinpoensis</i> *, <i>Fictibacillus barbaricus</i> *, <i>Halomonas ventosae</i> *, <i>Marinobacter pelagius</i> *
	11	-	<i>Bacillus hwajinpoensis</i>
	14a	<i>Bacillus vietnamensis</i> , <i>Marinimicrobium koreense</i> , <i>Zobellella aerophila</i> *	<i>Vibrio diabolicus</i>
Aknasugatag	14b	-	-
	15	-	-
	16	-	-
	17	<i>Bacillus vietnamensis</i>	<i>Halomonas aestuarii</i> , <i>Halomonas elongata</i> , <i>Halomonas fontilapidosi</i> *, <i>Halomonas ventosae</i> *, <i>Isoptericola halotolerans</i>

Megjegyzés: * NaCl szükséges a növekedéshez. NaCl required for growth.

ÖSSZEFOGLALÁS

A Máramarosi-medence sókarsztján kialakult, eltérő sókoncentrációjú tavak baktériumközösségének összetételét tenyésztési és molekuláris biológiai módszerekkel vizsgáltuk. A DGGE vizsgálat során kapott molekuláris ujjlenyomat mintázatok mintavételi helyszín szerint két csoportra váltak szét, a csoportokon belül pedig a hasonló sókoncentrációjú tavak mikrobaközösségei hasonlítottak a leginkább egymásra. Egyedül a hiperszalinikus tófürdő és a sós patak mikrobaközössége hasonlított egymásra oly mértékben, hogy megtörje ezt a földrajzi elkülönülést. Az alacsony NaCl koncentrációjú tavakból származó izolátumokat főként kis sótoleranciával jellemzett sótűrő fajokként azonosítottuk, míg a magasabb sókoncentrációjú tavakban enyhén, ill. mérsékelten

halofil, széles sótolerancia tartományú fajokat vontunk tenyésztésbe.

IRODALOM

Andrei A.S., Robeson S.M., Baricz A., Coman C., Muntean V., Ionescu A., Etiopie G., Alexe M., Sicora C.I., Podar M., Banciu H.L. (2015). Contrasting taxonomic stratification of microbial communities in two hypersaline meromictic lakes. *ISME J.* 9(12), 2642–2656

Baricz A., Cristea A., Muntean V., Teodosiu G., Andrei A.S., Molnár I., Alexe M., Rakosy-Tican E., Banciu H.L. (2015). Culturable diversity of aerobic halophilic archaea (Fam. Halobacteriaceae) from hypersaline, meromictic Transylvanian lakes. *Extremophiles* 19, 525–537

- Baricz A., Coman C., Andrei A.S., Muntean V., Keresztes Z.G., Păușan M., Alexe M., Banciu H.L. (2014). Spatial and temporal distribution of archaeal diversity in meromictic, hypersaline Ocnei Lake (Transylvanian Basin, Romania). *Extremophiles* 18(2), 399–413
- Borsodi A.K., Kiss R.I., Cech G., Vajna B., Tóth E.M., Márialigeti K. (2010). Diversity and activity of cultivable aerobic planktonic bacteria of a saline lake located in Sovata, Romania. *Folia Microbiol.* 55(5), 461–466
- Borsodi A.K., Felföldi F., Máthé I., Bognár V., Knáb M., Krett G., Jurecska L., Tóth E.M., Márialigeti K. (2013). Phylogenetic diversity of bacterial and archaeal communities inhabiting the saline Lake Red located in Sovata, Romania. *Extremophiles* 17, 87–98
- Carpa R., Keul A., Muntean V., Dobrotă C. (2014). Characterization of halophilic bacterial communities in Turda Salt Mine (Romania). *Orig. Life Evol. Biosph.* 44(3), 223–230
- Crognale S., Máthé I., Cardone V., Stazi S.R., Ráduly B. (2013). Halobacterial community analysis of Mierlei Saline Lake in Transylvania (Romania). *Geomicrobiol. J.* 9(30), 801–812
- Enache M., Itoh T., Kamekura M., Popescu G., Dumitru L. (2008). Halophilic archaea isolated from man-made young (200 years) salt lakes in Slănic, Prahova, Romania. *Cent. Eur. J. Biol.* 3(4) 388–395
- González-Domenech C.M., Martínez-Checa F., Quesada E., Béjar V. (2009). *Halomonas fontilapidosi* sp. nov., a moderately halophilic, denitrifying bacterium. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 59, 1290–1296
- Kasalický V., Jezbera J., Šimek K., Hahn M.W. (2010). *Limnohabitans planktonicus* sp. nov., and *Limnohabitans parvus* sp. nov., two novel planktonic Betaproteobacteria isolated from a freshwater reservoir. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 60(12), 2710–2714
- Keresztes Z.G., Felföldi T., Somogyi B., Székely G., Dragos N., Márialigeti K., Bartha C., Vörös L. (2012). First record of picophytoplankton diversity in Central European hypersaline lakes. *Extremophiles* 16, 759–769
- Kim I.G., Lee M.H., Jung S.Y., Song J.J., Oh T.K., Yoon J.H. (2005). *Exiguobacterium aestuarii* sp. nov. and *Exiguobacterium marinum* sp. nov., isolated from a tidal flat of the Yellow Sea in Korea. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 55, 885–889
- Martínez-Cánovas M.J., Quesada E., Llamas I., Béjar V. (2004). *Halomonas ventosae* sp. nov., a moderately halophilic, denitrifying, exopolysaccharide producing bacterium. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 54, 733–737
- Máthé I., Borsodi A.K., Tóth E.M., Felföldi T., Jurecska L., Krett G., Kelemen Z., Elekes E., Barkács K., Márialigeti K. (2014). Vertical physico-chemical gradients with distinct microbial communities in the hypersaline and heliothermal Lake Ursu (Sovata, Romania). *Extremophiles* 18, 501–514
- Móga J., Lippman L., Tombor E., Fehér K., Kéri A., Borsodi A.K. (2015). Az aknaszlatinai sókarszt felszínalakítási vizsgálata. *Karsztfejlődés XX.*, 185–213. ISSN 1585–5473
- Muyzer G., Smalla K. (1998). Application of denaturing gradient gel electrophoresis (DGGE) and temperature gradient gel electrophoresis (TGGE) in microbial ecology. *Antonie van Leeuwenhoek* 73(1), 127–141
- Ostermaier V., Kurmayer R. (2009). Distribution and abundance of nontoxic mutants of cyanobacteria in lakes of the Alps. *Microbiol. Ecol.* 58(2), 323–333
- Roohi A., Ahmed I., Paek J., Sin Y., Abbas S., Jamil M., Chang Y.H. (2014). *Bacillus pakistanensis* sp. nov., a halotolerant bacterium isolated from salt mines of the Karak Area in Pakistan. *Antonie van Leeuwenhoek* 105(6), 1163–1172
- Somogyi B., Vörös L., Pálffy K., Székely G., Bartha C., Keresztes Z.G. (2014). Picophytoplankton predominance in hypersaline lakes (Transylvanian Basin, Romania). *Extremophiles* 18, 1075–1084
- Vreeland R.H., Litchfield C.D., Martin S.E.L., Elliot E. (1980). *Halomonas elongata*, a new genus and species of extremely salt-tolerant bacteria. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 30, 485–495
- Wang L.T., Tai C.J., Wu Y.C., Chen Y.B., Lee F.L., Wang S.L. (2010). *Pseudomonas taiwanensis* sp. nov., isolated from soil. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 60, 2094–2098

A SZERZŐK



MEGYES MELINDA biológus, az Eötvös Loránd Tudományegyetem Biológus MSc szakán, Molekuláris, immun- és mikrobiológia szakirányon diplomázott 2017-ben. Jelenleg az ELTE Környezettudományi Doktori Iskolájának elsőéves doktorandusza. Kutatási területe a vetésforgók és trágyázási módszerek talaj baktériumközösségre gyakorolt hatásának vizsgálata kukorica termesztési tartamkísérletben.

ASZALÓS JÚLIA MARGIT az Eötvös Loránd Tudományegyetemen szerzett Biológus MSc diplomát 2015-ben, Molekuláris, Immun-, és Mikrobiológia szakirányon. Ezt követően az ELTE Biológia Doktori Iskolájának Zootaxonómia, Állatökológia, Hidrobiológia programjába nyert felvételt. Doktori témája a hegyi sivatagi környezetek extremofil prokarióta közösségeinek taxonómiai és anyagcsere diverzitása.

MÓGA JÁNOS geográfus, az ELTE TTK Földrajz- és Földtudományi Intézetének egyetemi docense. Szakterülete a Kárpát-medence és a Kárpátok tájai, a geo- és karsztmorfológia.

MÁRIALIGETI KÁROLY biológus, mikrobiológus, habilitált egyetemi tanár, az MTA doktora. Mester és doktori képzésben az általános és környezeti mikrobiológia legtágabb területén tart előadásokat. Közleményei a környezeti mikrobiológia, mikrobiális ökológia, mikrobiális taxonómia és filogenetika, környezeti biotechnológia témakörében jelentek meg.

BORSODI ANDREA mikrobiológus, az ELTE TTK Biológiai Intézet Mikrobiológiai Tanszékének habilitált egyetemi docense. Az MHT Limnológiai és Vízmikrobiológiai Szakosztályainak is vezetőségi tagja. Szakterülete a mikrobiális ökológia és a bakteriális taxonómia. Kutatásokat folytat szikes vizek és talajok, karsztos barlangi környezetek szélsőséges körülményei között élő, extremofil baktériumközösségek filogenetikai és anyagcsere diverzitásának feltárására.

Az érdes tócsagaz (*Ceratophyllum demersum*) lebontási ütemének vizsgálata a Kis-Balaton Ingói berkében

Simon Brigitta, Simon Szabina, Kucserka Tamás, Anda Angéla

Pannon Egyetem Georgikon Kar, Meteorológia és Vízgazdálkodás Tanszék (E-mail: simonbrigitta.georgikon@gmail.com)

Kivonat

A makrofiták bomlása fontos folyamat, amely során a tápanyagok visszajutnak a vízi ökoszisztémákba. In situ kísérleteket végeztünk a *Ceratophyllum demersum* bomlási folyamatainak tanulmányozására a Kis-Balaton Ingói berkében. A hínárt durva és finom hálós zsákokban inkubáltuk, hogy megvizsgáljuk a makrogerinctelen szervezetek és a kisodródás hozzájárulását a lebontáshoz. Meghatároztuk a hínár bomlási ütemét, exponenciális bomlási koefficiensét és a víz fizikai és kémiai paramétereit (pH, vezetőképesség, NH_4^+ , NO_3^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , Cl^-). A *Ceratophyllum demersum* bomlása a gyors lebontási kategóriába esett. A durva ($k=0,0917$) és a finom ($k=0,0917$) hálós zsákokban történő lebontási ütemek között szignifikáns különbségeket találtunk.

Kulcsszavak

Avarlebontás, hínár, avarzsák, Kis-Balaton vizes élőhely.

Investigation of *Ceratophyllum demersum*'s decomposition rate in Ingói Bay, Kis-Balaton Wetland

Abstract

Decomposition of macrophytes is an important process that nutrient in aquatic ecosystems. In situ experiments were conducted to study the decomposition processes of *Ceratophyllum demersum* litter in Ingói Bay, Kis-Balaton Wetland. *Ceratophyllum demersum* litter was incubated in coarse and fine mesh bags for the assessment of the relative contribution of macroinvertebrates and drifting to leaf litter decomposition. Dry mass, exponential decay coefficient and physical and chemical parameters of the water (pH, conductivity, NH_4^+ , NO_3^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , Cl^-) were determined. The decomposition rate of *Ceratophyllum demersum* litter was fast. Significant differences in litter decomposition rates were found between coarse and fine mesh bags (large mesh size $k=0,0917$ and small mesh size $k=0,0917$).

Keywords

Leaf litter decomposition, *Ceratophyllum demersum*, litter bag, Kis-Balaton Wetland.

BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉSEK

A klorofillal rendelkező zöld növényi szervezetek alapvető fontosságúak minden ökoszisztémában, vízben ezt a szerepet az algák és a magasabb rendű vízi-, mocsári-, illetve partmenti növények töltik be (Wetzel 1965). A vízi makrofiták fontos szerepet játszanak a széntárolásban és a tápanyag-ciklusban, főként sekély tavi- és folyami ökoszisztémában (Godshalk és Wetzel 1978, Carpenter 1980). A víz alá merülő makrofiták elsősorban a sekély tavak tiszta vizének fenntartásáért felelősek, és ezek a növények gyakran befolyásolják a teljes tó ökoszisztémájának működését (Scheffer és van Nes 2007, Meerhoff és Jeppesen 2010, Kisson és társai 2013).

A növényi anyag bomlás összetett folyamat, melyben mikroorganizmusok és egyes gerinctelenek szervezetek is részt vesznek, és ezeknek az organizmusoknak a hatására kezdődik meg a szén és a tápanyagok asszimilációs folyamata az élelmiszer-hálóban (Varga 2003). A nagy mennyiségű biomassza bomlása CO_2 kibocsátást és az oldott szerves formák vízbe való kioldódását eredményezi (Likens és Bormann 1995). A makrofiták lassú bomlása az üledék felhalmozódásához és a sekély tavak felgyorsult feltöltődéséhez vezethet (Reddy és társai 1999, Battle és Mihuc 2000), továbbá a bomlás befolyásolja a part menti övezetek tápanyagdinamikáját és ökológiai funkcióit (Asaeda és társai 2000, Frost és társai 2002, Li és társai 2012). A bomlás tehát egy rendkívül fontos ökoszisztéma-folyamat, amely lehetővé teszi az elsődle-

ges termelők tápanyagtartalmának elérését, gazdagítja a víz és az üledék szerves anyag tartalmát, és befolyásolja a tó közösségi fajösszetételét és trofikus szerkezetét (Graca és Canhoto 2006, Bellisario és társai 2012). Ezért nemzetközi szinten nagy érdeklődés mutatkozik a tavi ökoszisztémákban a vízi növényi bomlás változó mértékének mérésére és magyarázatára.

Sok tanulmány foglalkozik a vízi makrofiták, azon belül is a különböző hínárfajok bomlási dinamikájának és tápanyagforgalmának vizsgálatával, de hazai viszonylatban kevés szakirodalommal találkozhatunk e téren. Vizsgálataink során célul tűztük ki a Kis-Balaton legelterjedtebb és legnagyobb produkciót adó submers, lebegő hínárfaj, az érdes tócsagaz (*Ceratophyllum demersum*) lebontási ütemének meghatározását.

ANYAG ÉS MÓDSZER

Vizsgálatainkat a Kis-Balaton Vízügyi Rendszer II. ütem Ingói berkében (NY 46,6650; É 17,2079) végeztük 2017. szeptember 22. és november 16. között. A kísérlethez használt növényi anyagot (*Ceratophyllum demersum*) a kísérlet beállítását megelőző 2 hétben gyűjtöttük, megállandóságig szárítottuk, majd 10-10 grammot avarzsákokba töltöttük. Két, különböző lyukbőségű avarzsákokat alkalmaztunk: nagy szembőségű avarzsák $\phi=3\text{mm}$ átmérővel (továbbiakban sima avarzsák), illetve kis szembőségű avarzsák $\phi=900\mu\text{m}$ átmérővel (továbbiakban planktonháló zsák). A mintavételek az 1. nap, 2. nap, 4.

nap, 1. hét, ezt követően kéthetente történtek, mindkét szembőségű zsákból 3-3 párhuzamos mintával. A növényi anyagokat laboratóriumban megtisztítottuk, különválasztottuk a makrogerinctelen szervezeteket, melyeket család-szinten határoztunk meg. Ezt követően a mintákat újra tömegállandóságig szárítottuk, majd visszamértük a tömeget. A különböző lyukbőségű avarzsákokban visszamaradt hínár tömegeket párosított t-próbával elemeztük.

Az avarlebontás sebességének meghatározásához *Bärlocher és társai* (2005) nyomán a következő összefüggést alkalmaztuk:

$$M_t = M_0 \cdot e^{-kt}$$

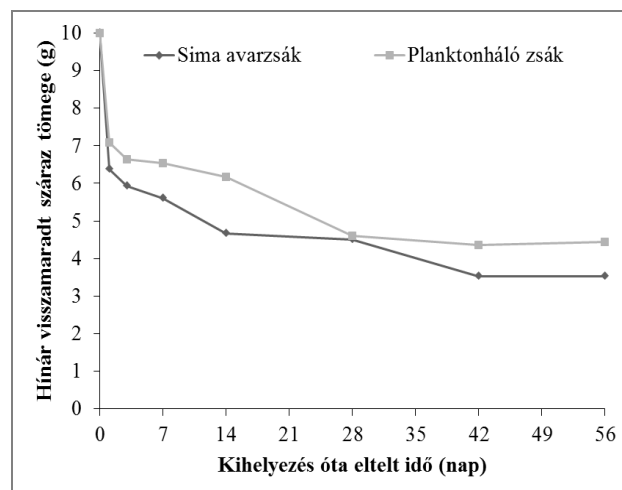
ahol M_t a visszamaradt szárazanyag tömege (g), M_0 a minta tömege a 0. időpillanatban (g), k a bomlási együttható és t a kihelyezés óta eltelt idő (nap). Ha $k < 0,005$, akkor a hínár lassú, ha $k = 0,005-0,01$, akkor közepes, ha $k > 0,01$, akkor gyors bomlási kategóriába sorolható. A hínár felezési idejét meghatároztuk a $T_H = \ln 2 \cdot k^{-1}$ összefüggés segítségével, amely megmutatja, hogy mennyi idő alatt csökken a felére az adott eszközben az avar tömege (*Graca és társai* 2005, *Bärlocher és társai* 2005).

A mintavételekkel egyidőben a víztestből vízmintát vettünk, melyben a pH-t és vezetőképességet Neotek-Ponsel Odeon típusú műszerrel, a NH_4^+ , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} és Cl^- tartalmat Lovibond MultiDirect típusú spektrofotométerrel meghatároztuk. A vízhőmérsékletet a kísérleti helyszínen *in situ* rögzítettük DeltaOHM HD226-2 típusú adatgyűjtővel, fél órás mintavételekkel.

EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉS

A minták tömegének időbeli változását az 1. ábra szemlélteti. Jól látható, hogy mindkét szembőségű zsákban nagyon gyors tömegcsökkenés következett be az első néhány napban, a sima avarzsákban lévő minták az eredeti tömegük 36,2%-át, a planktonháló zsákban lévő minták pedig 29,1%-át veszítették el. A gyors kezdeti tömegvesztés oka, hogy a vízdoldható szerves komponensek intenzíven kioldódhattak a mintákból. A kioldódás során az oldható anyagok abiotikus úton távoznak a levéllemezről (pl. szénhidrátok és aminosavak), amely folyamat a víz alá merülés után 24 órával már megtörténik, és ez akár 25%-os tömegvesztést is okozhat, esetenként elérheti a 30%-ot is (*Gessner és Schwoerbel* 1989). Továbbá *Wallis és Raulings* (2011) vizsgálatai alátámasztották, hogy sekély vizes környezetben az avar bomlása felgyorsul az oldott szerves anyagok kioldódásának és a mikrobák fokozott aktivitásának köszönhetően. Más kísérletek kimutatták, hogy nem figyelhető meg ilyen gyors kimosódás, ha friss és nem előre szárított avart használnak (*Gessner és Schwoerbel* 1989). A gyors kezdeti tömegvesztést követően lassult a hínár fogyása, a vizsgálati időszak végére a kezdeti száraz tömeg 64,8%-a (sima zsák), illetve 55,5%-a (planktonháló) bomlott le. A sima avarzsákban és planktonháló zsákban történő lebontás között szignifikáns különbséget találtunk ($P < 0,0039$). A két szembőségű zsák között lévő különbség oka a fizikai kopás és a makrogerinctelen szervezetek által végzett aprítás miatti eszközökből való kisodródás lehet. Náddal kapcsolatos, Fertőn végzett kutatások bizonyították, hogy az avarzsákokból való kisodródás 50% körüli lehet a

kihelyezést követő 3 hónapban (*Dinka és Szeget* 1999, *Dinka* 2002).



1. ábra. Az érdes tócsagaz (*Ceratophyllum demersum*) visszamaradt száraz tömege a Kis-Balaton Ingói békében
Figure 1. The remaining dry mass of *Ceratophyllum demersum* litter in Ingói Bay, Kis-Balaton Wetland

A lebontási kategóriákat tekintve a sima avarzsák esetében $k = 0,1200 \pm 0,1435$, tehát a gyors kategóriába esett, planktonháló zsák esetében $k = 0,0917 \pm 0,1096$, tehát szintén a gyors kategóriába esett. Felezési idejük előbbinél 6, utóbbinál 7 nap volt. Nemzetközi szakirodalomban beszámoltak hasonló hínárfajokkal végzett kísérletek eredményeiről, ahol a vizsgálati módszerek a megegyeztek az általunk alkalmazott módszerrel. *Banks és Frost* (2017) egy kanadai sekély, mezotróf tóban különböző hínárfajok lebontását vizsgálták avarzsákos módszerrel, melyek közül egyik az általunk is vizsgált *Ceratophyllum demersum*. Eredményeik azt mutatták, hogy a négy makrofita lebontása szignifikánsan különbözött, a k együttható értékei *Ceratophyllum* esetében $k = 0,032$. A további 2 hínárfaj k értékei is hasonlóan alakultak (*Myriophyllum heterophyllum* $k = 0,023$, *Potamogeton robinsii* $k = 0,009$), illetve a sás (*Typha × glauca*) k értéke 0,0061 volt.

Girum és társai (2017) szintén vízi makrofiták lebontását vizsgálták Ziway tóban, Etiópiában. Az általuk vizsgált 7 faj közül egy alámerülő hínár (*Potamogeton schweinfurthii*), egy úszó (*Nymphaea lotus*) és öt vízből kiemelkedő makrofita (*Arundo donax*, *Echinochloa colona*, *Cyperus articulatus*, *Typha latifolia*, *Cyperus papyrus*). Eredményeik azt mutatták, hogy a *P. schweinfurthii* a 15. és 46. nap között bomlott a leggyorsabban, és e növény lebontási rátája volt a legmagasabb az általuk vizsgált növények közül ($k = 0,0409$).

Carvalho és társai (2015) két hínárfaj, a *Potamogeton pectinatus* és *Chara zeylanica* lebontását vizsgálták egy szubtrópusi sekély tóban, Brazília déli részén. Eredményeik azt mutatták, hogy a két hínárfaj lebontása különbözött a vizsgálati időszakban (*P. pectinatus* $k = 0,019$; *C. zeylanica* $k = 0,071$). Ezek az értékek valamivel alacsonyabbak az általunk kapott értékeknél.

A szakirodalomban megfigyelhető különbségek részben a kísérleti helyek különbözőségének (tó, folyó, vizes

élőhely), azok eltérő vízkémiai, hőmérsékleti stb. tulajdonságainak, illetve a kísérlet kezdetének időzítésének és az alkalmazott módszer típusának is tulajdoníthatók (Asaeda és Nam 2002). Például a kutatás tavasszal történő beállítása, szemben a télel, gyorsabb tömegvesztést eredményez (Wrubleski és társai 1997). Az anyaggyűjtés időzítése és a növényi anyag (száritott vagy friss) víztartalma szintén hozzájárulhat a bomlási sebességének megfigyelt ingadozásához (Gessner 1991).

A mintavételt követő tisztítás során külön válogattuk a makrogerintelen szervezeteket, melyeket családszinten határoztunk meg. A vizsgálati időszak alatt a sima avarzsákban találtunk állatokat, az 1. mintavételkor 1 db, az 5. mintavételkor 5 db árvaszúnyoglárva (*Chironomidae*), illetve a 4. mintavételkor 1 db szitakötőlárva (*Odanata*) volt az avarzsákokban, utóbbi funkcionális csoport szerint ragadozó, ez eredményezheti ebben az időpontban az aprító és gyűjtőgető makrogerintelenek hiányát. Carvalho és társai (2015) vizsgálták a makrogerintelen szervezetek mennyiségét is a két hínárfaj lebontása során. Megállapították, hogy az inkubációs idővel nő a gerintelenek bősége mindkét növényi mintában. Az általuk talált *Chironomidae* és *Oligochaeta* szervezetek élelmiszerforrása a szemcsés szerves anyag, amelyek nagy mennyiségben fordulnak elő a lebontási folyamatok előrehaladtával.

Kísérletünk során meghatároztuk a mintavételi helyszínen a víz fizikai és kémiai változóit. A lebontás hőmérséklet függésére sok publikáció született, mind a mikroszkópikus, mind a makroszkópikus szervezetek mennyiségére hatással van. A gombák általi lebontás hidegebb hőmérsékletű vízben intenzívebb (Kovács és társai 2015). Az avar belső tulajdonságain túl, a víz hőmérséklete és biotikus együttese mellett a vízkémiai tulajdonságai is jelentősen befolyásolják a lebontás mértékét (Albeho 2001, Gessner és társai 1997). Pomogyi (1983) a Kis-Balaton Zalavári vizén végzett elemtartalomváltozás, a lebomlás során bekövetkező elemfelszabadulás és primer produkció meghatározást – többek között – érdes tócsagazra vonatkozóan. A hínár dekompozíciója során bekövetkező biogén elem felszabadulását vizsgálták állandó (28°C-os) és természetes hőmérsékleten. Eredményeik azt mutatták, hogy magasabb hőmérsékleten a tócsagaz súlyvesztése jóval nagyobb mértékű, azonban a felszabadult elem mennyiségek között nem találtak jelentős különbséget Langhaus és társai (2008) megállapították, hogy a víztest kémiai jellemzői jelentős hatással bírnak az avarlebontás folyamatára, munkájuk során a fekete nyár (*Populus nigra*) avar lebomlásának mértékét meghatározta, hogy a víztesten belül milyen jellegzetességű területen vizsgálták. Kísérleti területünkön a pH=7,8±0,41 volt, az enyhén lúgos tartományba esett, mely a lebontás szempontjából optimálisnak tekinthető. Az NH₄⁺ 1,4±1,24 mg l⁻¹, a SO₄²⁻ 74,1±60,5 mg l⁻¹, a PO₄³⁻ 0,72±0,41 mg l⁻¹, a Cl⁻ 13,2±3,7 mg l⁻¹ alakult, illetve a vezetőképesség kisebb változékonyságot mutatott (753,4±124,1 μS cm⁻¹). A NO₃⁻ esetében nem volt mérhető koncentráció a vízmintáinkban. A vízhőmérséklet az évszaknak megfelelően alakult, 16,9±1,9°C volt. Összességében elmondható, hogy az

általunk vizsgált vízkémiai paraméterek nem tértek el a területre jellemző értékekről.

ÖSSZEFOGLALÁS

Kísérletünkben a Kis-Balaton Ingói berekben nagy mennyiségben előforduló submerse, lebegő hínár, az érdes tócsagaz (*Ceratophyllum demersum*) lebontási ütemét és felezési idejét határoztuk meg avarzsákos módszerrel. Két, különböző lyukbőségű eszközt alkalmaztunk, így makrogerintelenek és kisodródás jelenlétében, illetve hiányában is figyelemmel tudtuk kísérni a lebontás mértékét. Vizsgálataink azt mutatták, hogy a tócsagaz gyors lebontási kategóriába esett, és igen rövid felezési idővel jellemezhető. Ez a vízminőség szempontjából igen jelentős eredmény, ugyanis a gyors lebontás magával vonja a növény tápelemeinek a gyors kioldódását is. Az avarzsákban kevés makrogerintelen szervezetet találtunk, ebben az eszközben az avarfogyás szignifikánsan nagyobb volt a planktonhálózhoz viszonyítva.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatás az Emberi Erőforrások Minisztériuma ÚNKP-17-1 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának támogatásával készült.

IRODALOMJEGYZÉK

- Ágoston-Szabó E., Dinka M. (2005). A keskenylevelű gyékény és a nád dekompozíciója. Hidrológiai Közöny. 85. évf. 6. szám, 5-6.
- Albeho M. (2001). From litterfall to breakdown in streams: a review. The Scientific World Journal. 1, 656-680.
- Asaeda T., Trung V.K., Manatunge J. (2000). Modeling the effects of macrophyte growth and decomposition on the nutrient budget in shallow lakes. Ecol Eng. 68,217-237.
- Asaeda T., Nam L.H. (2002). Effects of rhizome age on the decomposition rate of *Phragmites australis* rhizomes. Hydrobiologia. 485, 205-208.
- Banks L.K., Frost P.C. (2017). Biomass loss and nutrient release from decomposing aquatic macrophytes: effects of detrital mixing. Aquat Science, Article No: 539. DOI 10.1007/s00027-017-0539-y
- Bärlocher, F. (2005). Leaf mass loss estimated by litter bag technique. In Graça, M. A. S., F. Bärlocher, M. O. Gessner, (eds) Methods to study litter decomposition: a practical guide. Springer, Dordrecht, The Netherlands. 37-42.
- Battle J.M., Mihuc T.B. (2000). Modeling the effects of macrophyte growth and decomposition on the nutrient budget in shallow lakes. Ecol Eng. 68, 217-237.
- Bellisario, B., Cerfolli, F., Nascetti, G. (2012). The interplay between network structure and functioning of detritus-based communities in patchy aquatic environment. Aquat. Ecol. 46, 431-441.
- Carpenter S.R. (1980). Enrichment of Lake Wingra, Wisconsin, by submersed macrophyte decay. Ecology. 61, 1145-1155.
- Carvalho C., Heppa L.U., Palma-Silva C., Albertonia E.F. (2015). Decomposition of macrophytes in a shallow subtropical lake. Limnologia. 53, 1-9

Dinka M. és Szabó E. (2002). A nád különböző szer-
veinek dekompozíciója. Hidrológiai Közöny. 82 évf., I-
XII. különszám, 24-27.

Dinka M., Szeglet P. (1999). Carbohydrate and nutri-
ent content in rhizomes *Phragmites australis* from differ-
ent habitats of Lake Fertő/ Neusiedler See. Limnologica.
29, 47-59.

Frost P.C., Stelzer R.S., Lamberti G.A., Elser J.J.
(2002). Ecological stoichiometry of trophic interactions
in the benthos: Understanding the role of C:N:P ratios in
lentic and lotic habitats. J North Am Benthol Soc. 21,
515–528.

Gessner M.O. (1991). Differences in processing dy-
namics of fresh and dried leaf litter in a stream ecosys-
tem. Freshwater Biology. 26, 387-398.

Gessner M.O., Suberkropp K., Chauvet E. (1997).
Decomposition of plant litter by fungi in marine and
freshwater ecosystem. In The Mycota: A Comprehensive
Treatise on Fungi as Experimental Systems for Basic and
Applied Research. Vol. 4. Environmental and Microbial
Relationships. Wicklow, D.T. and Söderström, B., Eds.
Springer-Verlag, Berlin. 303-322.

Gessner M.O., Schwoerbel J. (1989). Leaching kinet-
ics of fresh leaf-litter with implication for the current
concept of leaf-processing in streams. Archiv für Hydro-
biologia 115: 81-90.

Girum T., Seyoum M., Gezahegn D. (2017). Decom-
position rates and nutrient Leaching efficacy of the Dom-
inant Macrophytes in Lake Ziway, Ethiopia. International
Journal of Aquatic Science. 8 (2), 96-106.

Godshalk G.L., Wetzel R.G. (1978). Decomposition of
aquatic angiosperms II. Particulate components. Aquat
Bot. 5,301–327.

Graca M. A. S., Bärlocher F., Gessner M. O. (2005).
Methods to Study Litter Decomposition: A Practical
Guide. 37-42.

Graca, M.A.S., Canhoto, C. (2006). Leaf litter pro-
cessing in low order streams. Limnetica. 25 (1–2), 1–10.

Karádi-Kovács K., Selmeczy G.B., Padisák J.,
Schmera D. (2015). Food, substrate or both? Decomposi-
tion of reed leaves (*Phragmites australis*) by aquatic ma-
croinvertebrates in a large shallow lake (Lake Balaton,
Hungary). Ann. Limnol. - Int. J. Lim. 51, 79–8.

Kissoon, L.T.T., Jacob, D.L., Hanson, M.A., Herwig,
B.R., Bowec, S.E., Ottea, M.L. (2013). Macrophytes in
shallow lakes: relationships with water, sediment and
water-shed characteristics. Aquat. Bot. 109, 39–48.

Langhaus S.D., Tiegs S.D., Gessner M.O., Tockner K.
(2008). Leaf-decomposition heterogeneity across a river-
ine floodplain mosaic. Aquat. Science. 70, 337-346.

Li X., Cui B., Yang Q., Tian H., Lan Y., Wang T., Han
Z. (2012). Detritus quality controls macrophyte decompo-
sition under different nutrient concentrations in a eu-
trophic shallow lake, North China. PLoS One. 7, 1–10.

Likens G.E., Bormann F.H. (1995). Biogeochemistry
of a forested ecosystem. Springer-Verlag, Berlin

Meerhoff, M., Jeppesen, E. (2010). Shallow lakes and
ponds. In: Likens, G.E. (Ed.), Lake Ecosystem Ecology.
Elsevier-Academic Press, San Diego, 343–375.

Pomogyi P. (1983). Kis-balatoni tömegesen előfordu-
ló hínárfajok tápanyagforgalma és annak kapcsolata a
vízminőségvédelemmel. Kandidátusi értekezés, Kesz-
hely. 24, 67-69.

Reddy K.R., Kadlec R.H., Flaig E., Gale P.M. (1999).
Phosphorus retention in streams and wetlands: a review.
Crit Rev Environ Sci Technol. 29, 83–146.

Scheffer, M., van Nes, E.H. (2007). Shallow lakes
theory revisited: various alternative regimes driven by
climate, nutrients, depth and lake size. Hydrobiologia.
584, 455–466.

Varga, I. (2003). Structure and changes of macroin-
vertebrate community colonizing decomposing rhizome
litter of common reed at Lake Fertő/Neusiedler See
(Hungary). Hydrobiologia 506–509, 413–420.

Wallis E., Raulings E. (2011). Relationship between
water regime and hummock-building by *Melaleuca erici-
folia* and *Phragmites australis* in a brackish wetland.
Aquat. Bot. 95, 182-188.

Wetzel R.G. (1965). Techniques and problems of pri-
mary productivity measurements in higher aquatic plants
and periphyton. Mem. Ist. Ital. Hidrobiol. Suppl. 18, 294-
267.

Wrubleski D.A., Murkin H.R., van der Valk A. G.,
Nelson J.W. (1997). Decomposition of emergent macro-
phyte roots and rhizomes in a northern prairie marsh.
Aquatic Botany. 58, 121-134.

A SZERZŐK



SIMON BRIGITTA A Pannon Egyetem Georgikon Karának PhD hallgatója, okleveles környezetgazdál-
kodási agrármérnök. Kutatásai kiterjednek a vízfelületek párolgásának, illetve a vízbe hulló avar lebontásá-
nak vizsgálatára.

SIMON SZABINA Környezetgazdálkodási agrármérnöki BSc hallgató a Pannon Egyetem Georgikon Karán.

KUCSERKA TAMÁS PhD, okleveles környezetkutató. A Pannon Egyetem, Georgikon Karának Meteorológia és Vízgazdálko-
dás Tanszékén adjunktus. Kutatási területe a vízbe kerülő avar lebontásának vizsgálata.

ANDA ANGÉLA Agrometeorológus (DSc, földrajztudomány-meteorológia), a Pannon Egyetem Georgikon Karának tanszékve-
zető egyetemi tanára (Meteorológia és Vízgazdálkodás Tanszék). Kutatási területe a növény-víz kapcsolat vizsgálata, mely termés-
zett és természetes élőhelyen lévő fajokra is kiterjed.

Adatok Kárpátalja tegzes (Trichoptera) faunájához

Szanyi Kálmán*, Szanyi Szabolcs**

*Debreceni Egyetem, Hidrobiológiai Tanszék, 4032, Debrecen, Egyetem tér 1. (E-mail: szanyikalman@gmail.com)

**Debreceni Egyetem, Evolúciós Állattani és Humánbiológiai Tanszék, 4032, Debrecen, Egyetem tér 1.

Kivonat

Ukrajna tegzesfaunája a szomszédos országokéhoz képest kevésbé kutatott. Különösen igaz ez Kárpátalja alföldi részére. Kutatásunk során a Kárpátalján található Nagydobronyi Vadvédelmi Rezervátum tegzes imágóit vizsgáltuk és az első adatokat szolgáltatjuk a rezervátum tegzesfaunájáról. Összesen 29 mintavétel során 6 család 30 fájának 848 egyedét sikerült azonosítani. A domináns, tömegesen előforduló fajok mellett több ritka és veszélyeztetett faj is képviseltette magát. Ukrajna tegzesfaunájára nézve 3 (*Hydropsyche guttata*, *Oecetis tripunctata*, *Ceraclea riparia*) Kárpátalja alföldi régiójára nézve pedig 26 eddig nem ismert faj jelenlétét sikerült igazolnunk, amelyek közül több is veszélyeztetett természetvédelmi szempontból. A *Hydropsyche guttata* és a *Parasetodes respersellus* fajok előfordulása a Kárpát-medencében szórványos, csak nagyon kevés recens adatuk ismert. A gyűjtött fajok közül az *Oecetis testacea* a közvetlenül veszélyeztetett kategóriába tartozik, három faj a veszélyeztetett, további tíz a sérülékeny kategóriába sorolható. A faji összetétel alapján kijelenthető, hogy a vizsgált terület tegzesfaunája figyelemre méltó és védelemre érdemes. Az, hogy egyetlen mintavételi pont vizsgálatával ennyi új fajt sikerült leírni regionális és országos szinten is, további kutatások szükségességét igazolja.

Kulcsszavak

Tegzes imágó, Kárpátalja, Beregi-sík, Trichoptera, faunisztika, fénycsapda.

New data on the caddisfly (Trichoptera) fauna of Transcarpathia

Abstract

The caddisfly fauna of Ukraine is less researched than those of the surrounding countries. It is especially true in the case of the lowland region of Transcarpathia. During our research caddisfly adults were collected in the Velyka Dobron' Game Reserve, resulted in the first occurrence data from the caddisfly fauna of the area. The Reserve is situated in the lowland region of Transcarpathia, in the Ukrainian part of the Bereg plain, belonging to the Great Hungarian Plain ecoregion. 838 individuals of 30 species were collected and determined from 29 samplings during the investigation period in 2015. Beyond the dominant species we also detected numerous rare and threatened species. Three species are new to the fauna of Ukraine (*Hydropsyche guttata*, *Oecetis tripunctata*, *Ceraclea riparia*), while 26 species have been unknown in the lowland region of Transcarpathia. Two species are very rare in the Carpathian basin with very few occurrence data (*Parasetodes respersellus*, *Oecetis testacea*). In the point of view of nature conservation *Oecetis testacea* is directly threatened, three species (*Cyrnus flavidus*, *Oecetis tripunctata*, *Ceraclea riparia*) are endangered, and further ten (*Hydropsyche bulbifera*, *Agrypnia varia*, *Limnephilus hirsutus*, *Stenophylax permistus*, *Micropterna testacea*, *Halesus tessellatus*, *Mystacides niger*, *Oecetis lacustris*, *O. notata*, *Setodes punctatus*) are vulnerable. Due to the species composition and the presence of rare species the caddisfly fauna of the Reserve is remarkable and worthy to protection. However, our samplings were performed only one sample area, a high number of new species was detected both in regional and national level. It suggests that further studies might prove much more valuable new records from the area.

Keywords

Caddisfly adult, Transcarpathia, Bereg plain, Trichoptera, faunistics, light trap.

BEVEZETÉS

A tegzesek a vízi makrogerinctelenek egyik legfajgazdagabb rendje több, mint 15 ezer leírt fajjal, amelyek az Antarktisz kivételével az összes biogeográfiai régióban megtalálhatóak (Holzenthal és társai 2007, Morse 2011). Lárvaként létfontosságú tagjai a vízi táplálékhálózatoknak. A sok, eltérő ökológiai igényű faj miatt kiváló indikátorok, előfordulásuk és gyakoriságuk adatait a biológiai állapotértékelésben és a vízminőség monitorozásában is használják (Resh és Rosenberg 1984, Resh 1993, Lenat 1993, Dohet 2002, Kiss 2002, Holzenthal és társai 2007, Graf és társai 2008). Életük túlnyomó részét a vízben töltik lárva állapotban, néhány szárazföldön fejlődő faj kivételével.

Ukrajna tegzesfaunája a szomszédos országokéhoz viszonyítva kevésbé ismert, a legutolsó országos fajlistában (Godunko és Szczesny 2008) 218 faj szerepel. Kárpátalja alföldi részéről 11 fajt jegyez fel, de ez a fajsza nagy valószínűséggel meg sem közelíti a terület tegzes-

faunájának valódi fajgazdagságát. Ráadásul az itt végzett vizsgálatok túlnyomó többsége több mint 50 évvel ezelőtt történt (Ivlev és Ivasik 1961). Újabb felmérés Kárpátalján 2011-ben folyt, amely során két új fajt találtak, az *Oecismus monedula*-t (Hagen 1859) és *Oecetis testacea*-t (Curtis 1834), ezzel 13-ra emelkedett az innen leírt fajok száma (Górecki 2011).

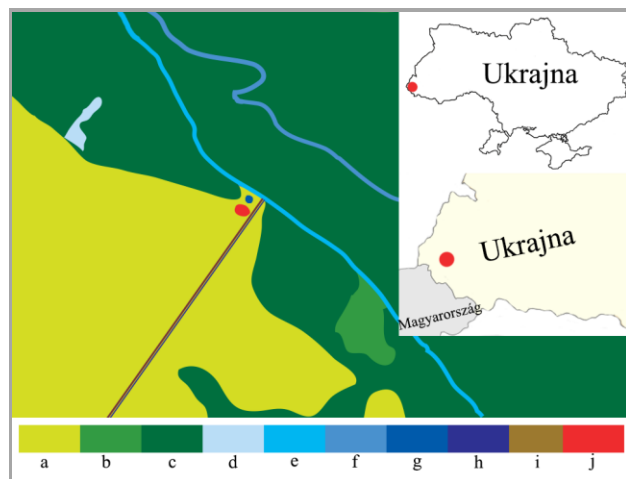
A Nagydobronyi Vadvédelmi Rezervátum Kárpátalja alföldi részén, azon belül a Beregi-sík ukrániai oldalán található. A Beregi-sík magyar oldalának mind faunája, mind flórája viszonylag jól ismert, viszont a határon átnyúló kárpátaljai rész kutatottságban már jelentősen elmarad tőle. Az utóbbi 10 évben a rezervátumban több vizsgálat folyt, illetve folyik jelenleg is a különböző herbivore rovarközösségek diverzitásának felmérése céljából, főleg nagylepkékre és egyenesszárnyúakra koncentrálván; ezek eredményei a terület természetvédelmi értékét bizonyítják (Szanyi 2011, Nagy és társai 2011, Szanyi 2012a és b). A vízi élőlénycsoportok vizsgálatára azon-

ban idáig nem került sor. Vizsgálatunkkal az első adatokat szeretnénk szolgáltatni a Nagydobronyi Vadvédelmi Rezervátum területének tegzesfaunájáról.

ANYAG ÉS MÓDSZER

Mintavételi terület jellemzése:

A Beregi-sík a Felső-Tisza-vidék része, valamint a Nagy-Alföld északkeleti peremterülete, amit kettészeli a magyar-ukrán államhatár. Hűvös-csapadékos, kontinentális éghajlattal rendelkező, erdőkben és nedves élőhelyekben bővelkedő terület (Szanyi és társai 2015b). A Beregi-sík részeként ez igaz a Nagydobronyi Vadvédelmi Rezervátum területére is.



1. ábra. A mintavételi hely: a) szántóföldek, b) gyepek c) erdők, d) halastó, e) egy nagyobb kanális, f) Szernye-csatorna, g) kis állóvíz, h) kisebb kanális, i) földút, j) mintavételi pont

Figure 1. The sampling site: a) plough-lands, b) turfs c) forest, d) reservoir, e) a bigger channel, f) Szernye-channel, g) small still water, h) smaller channel, i) dirt road, j) sampling point

A Nagydobrony környékén elhelyezkedő erdők 1974 óta törvényes védelem alatt állnak. Az állami jelentőségű zoológiai rezervátum síksági jellegű 105 méteres tengerszint fölötti átlagos magassággal. Területe összesen 1736 hektárt ölel fel a volt Szernye-láp peremterületén, és több ritka állat- és növényfajnak is otthont ad (Nagy és társai 2011, Szanyi 2012 a, b). A lecsapolások ellenére napjainkban is vízjárta és nedves területnek mondható, így több helyen megmaradtak olyan foltok, melynek növénytakarai az egykori flórát idézik (Fodor 1999, Hargitai 1943, Kohut és társai 2006). Erdőtakaróját többnyire elegyes keményfás lomberdők alkotják, ahol a domináns erdőalkotó fajok a tölgy, a kőris és a szil. Gyakori elegendő a mezei juhar és a különböző nyár fajok, valamint helyenként az enyves éger. A Latorca és a különböző csatornák árterein puhafa ligetek alakultak ki, melyeket leggyakrabban fűz és nyár fajok alkotnak.

A rezervátumot keresztülszelő Latorca folyó árteréhez tartozó területeket a tavaszi hónapokban bőséges vízellátottság jellemzi (Szanyi és társai 2015a). A rezervátumot továbbá időszakosan kiszáradó, mesterségesen kialakított csatornák, kisebb-nagyobb tocsogók veszik körbe (1. ábra).

Módszerek

A mintavételekhez a rezervátum területén üzembe helyezett Jermy típusú fénycsapdát használtunk. A csapda elhelyezkedése éppen optimális volt a vizsgálatok szempontjából, mivel a Latorca közelsége miatt az imágók a kis távolság következtében könnyedén eljuthattak a fényforráshoz. A csapda 125 W-os higanygőzlámpával (HgLi) működött, amely 2 méter magasságban volt elhelyezve. A mintavételezés 2015 júliusától novemberéig tartott. A gyűjtést minden héten időjárástól függően 2-3 alkalommal ismételtük meg. A csapdában kloroformot (CHCl₃) használtunk, mivel ez bizonyult a legeredményesebbnek az állatok elkábítására. A begyűjtött egyedeket 70%-os etil-alkoholban tároltuk határozásig.

A határozást a megbízható külső, szabad szemmel is jól látható morfológiai megkülönböztető jelek hiánya következtében ivarszervi (genitális) képletek alapján végeztük. A folyamat első lépése az egyedek potrohvégeinek levágása volt a 7-8. szelvényüknél, majd annak lúgban (NaOH) való kifőzése és megtisztítása a felesleges szövetdaraboktól. Az így megtisztított potrohvégeket aztán 70%-os etil-alkoholban tartalmazó Petri-csészékre áthelyezve azonosítottuk. A határozáshoz Malicky (2004) munkáját vettük alapul, a nevezéktan Nógrádi és Uherkovich (2002) könyvét követi. A Nagydobronyi Vadvédelmi Rezervátum a Nagy-Magyar-Alföld része, ezáltal faunájára is ahhoz hasonló fajösszetétel jellemző. A tegzesfajok veszélyeztetettség alapján történő kategorizálása nincs kidolgozva Ukrajnában. A vizsgált terület a kárpát-medencei biogeográfiai régióhoz tartozik, ezért a különböző kategóriákba történő besorolást a Nógrádi és Uherkovich (2002) által készített magyarországi beosztás szerint végeztük.

EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉS

A vizsgálati időszakban 29 alkalommal történt mintavételezés, amelyek során 30 faj 848 egyedét gyűjtöttük.

A begyűjtött egyedek többsége nagy valószínűséggel a Latorcában fejlődött. Ugyanakkor a fénycsapda közelében található a Szernye-csatorna és egy másik, kisebb csatorna, valamint egy kisebb állóvíz is, így egyes begyűjtött példányoknak tenyésztő helyei lehettek ezek a vizek is.

A legértékesebb eredményünk, hogy három, Ukrajna tegzesfaunájára nézve új faj (*Hydropsyche guttata*, *Oecetis tripunctata*, *Ceraclea riparia*) került elő, valamint további két nagyon ritka faj, amelyekből idáig csak néhány egyedet gyűjtöttek az országon belül (*Parasetodes respersellus*, *Oecetis testacea*). Kárpátalja alföldi részéről összesen 13 faj volt ismert idáig: *Rhyacophila nubila* (Zetterstedt 1840), *Ptilocolepus granulatus* (Pictet 1834), *Polycentropus flavomaculatus* (Pictet 1834), *Psychomyia pusilla* (Fabricius 1781), *Hydropsyche bulbifera*, *H. contubernalis*, *H. incognita* (Pitsch 1993), *H. modesta*, *Brachycentrus subnubilus* (Curtis 1834), *Grammotaulius nitidus* (Muller 1764), *Athripsodes aterrimus* (Stephens 1836), *Oecismus monedula*, *Oecetis testacea* (Godunko és Szczesny 2008, Górecki 2011). Vizsgálatunk során az alföldi régióból további 26 faj jelenlétét sikerült igazolni (1. táblázat).

1. táblázat: A gyűjtött fajok jegyzéke
Table 1. List of collected species

Család	Faj
Hydropsychidae	<i>Hydropsyche bulbifera</i> (McLachlan 1878)
Hydropsychidae	<i>Hydropsyche bulgaromanorum</i> (Malicky 1977)
Hydropsychidae	<i>Hydropsyche contubernalis</i> (McLachlan 1865)
Hydropsychidae	<i>Hydropsyche guttata</i> (Pictet 1834) *
Hydropsychidae	<i>Hydropsyche modesta</i> (Navás 1925)
Polycentropodidae	<i>Holocentropus picicornis</i> (Stephens 1836) *
Polycentropodidae	<i>Cyrnus flavidus</i> (McLachlan 1864) *
Ecnomidae	<i>Ecnomus tenellus</i> (Rambur 1842) *
Phryganeidae	<i>Agrypnia varia</i> (Fabricius 1793) *
Limnephilidae	<i>Limnephilus affinis</i> (Curtis 1834) *
Limnephilidae	<i>Limnephilus flavicornis</i> (Fabricius 1787) *
Limnephilidae	<i>Limnephilus hirsutus</i> (Pictet 1834) *
Limnephilidae	<i>Limnephilus incisus</i> (Curtis 1834) *
Limnephilidae	<i>Limnephilus lunatus</i> (Curtis 1834) *
Limnephilidae	<i>Limnephilus vittatus</i> (Fabricius 1798) *
Limnephilidae	<i>Grammotaulius nigropunctatus</i> (Retzius 1783)
Limnephilidae	<i>Stenophylax permistus</i> (McLachlan 1895) *
Limnephilidae	<i>Micropterna testacea</i> (Gmelin 1789) *
Limnephilidae	<i>Glyptotaelius pellucidus</i> (Retzius 1783) *
Limnephilidae	<i>Halesus tessellatus</i> (Rambur 1842) *
Leptoceridae	<i>Ceraclea dissimilis</i> (Stephens 1836) *
Leptoceridae	<i>Ceraclea riparia</i> (Albarda 1874) *
Leptoceridae	<i>Mystacides niger</i> (Linnaeus 1758) *
Leptoceridae	<i>Oecetis lacustris</i> (Pictet 1834) *
Leptoceridae	<i>Oecetis notata</i> (Rambur 1842) *
Leptoceridae	<i>Oecetis tripunctata</i> (Fabricius 1793) *
Leptoceridae	<i>Oecetis testacea</i> (Curtis 1834)
Leptoceridae	<i>Setodes punctatus</i> (Fabricius 1793) *
Leptoceridae	<i>Leptocerus tineiformis</i> (Curtis 1834) *
Leptoceridae	<i>Parasetodes respersellus</i> (Rambur 1842) *

Megjegyzés: * Kárpátalja alföldi részére nézve új fajok

A magyarországi veszélyeztetettségi kategóriákba több faj is beletartozik. A vizsgált területen jelen voltak a *Hydropsyche guttata* és a *Parasetodes respersellus* fajok, amelyek előfordulása Magyarországon határain belül csak kevés egyeddel van igazolva. Az *Oecetis testacea* a közvetlenül veszélyeztetett kategóriát képviseli. A gyűjtött fajok közül hármat sorolhatunk a veszélyeztetett (*Cyrnus flavidus*, *Oecetis tripunctata*, *Ceraclea riparia*), valamint további tízet a sérülékeny kategóriába (*Hydropsyche bulbifera*, *Agrypnia varia*, *Limnephilus hirsutus*, *Stenophylax permistus*, *Micropterna testacea*, *Halesus tessellatus*, *Mystacides niger*, *Oecetis lacustris*, *Oecetis notata*, *Setodes punctatus*) (Nógrádi és Uherkovich 1999).

Habár az első adatokat közöljük a Nagydobronyi Vadvédelmi Rezervátum területének faunájáról, már az első gyűjtések során is számos ritka és veszélyeztetett fajt sikerült kimutatni. A tegzesegyüttes összetétele alapján kijelenthető, hogy a vizsgált terület figyelemre méltó és védelemre érdemes. Eredményeink rámutatnak arra is,

hogy további kutatások szükségesek a rezervátum tegzesfaunájának teljes megismeréséhez.

Természetvédelmi szempontból jelentősebb fajok *Parasetodes respersellus* (Rambur 1842)

A *P. respersellus* nemzetségének egyetlen képviselője a Nyugat-Palearktikus régióban (Malicky 2004, Graf és társai 2008). Európában mindössze hat országból ismert (Franciaország, Olaszország, Magyarország, Románia, Görögország, Oroszország és Ukrajna) (Malicky 2017). Ukrajnában előfordulási adattal egyedül az ország nyugati részéről, a Szent Hegyek Nemzeti Parkból rendelkezünk (Stibeltsov 2013).

A lárvá főleg a lassú vagy közepesen gyors áramlású folyókra jellemző (Valle 2001). Kifejlett egyedeket többnyire nagy folyók mentén gyűjtötték (Murgoci 1969, Bertuetti és társai 2001, Laudee és Prommi 2011), de megfigyelték az előfordulását kisebb folyók és patakok mentén is (Uherkovich és Nógrádi 1990). A magyarországi lárvaadatok alapján (Móra és társai 2014) a faj elsősorban a vízfolyások homokos aljzatú szakaszait preferálja.

Oecetis testacea (Curtis 1834)

Európa nagy részén előforduló faj (Malicky 2017). Magyarországon a veszélyeztetettségi kategóriák közül a közvetlenül veszélyeztetett kategóriába tartozik (Nógrádi és Uherkovich 1999). Ukrajnából eddig két him példány volt ismert (Górecki 2011), mindkettő Kárpátaljáról (Dolha és Nagyszőlős). Lárva ragadozó életmódot folytat. Általában kavicsos-köves aljzaton fordul elő, de megfigyelték már fatörmelékben is (Graf és társai 2008, Málnás és társai 2014).

Oecetis tripunctata (Fabricius 1793)

A legkisebb hazai *Oecetis* faj. A Nyugat-Palearktikumban széleskörűen elterjedt (Malicky 2017). Lárva aprító illetve ragadozó életmódot is folytathat. A lassú áramlással rendelkező alföldi folyókat részesíti előnyben (Waringer és Graf 2014). Rövid rajzási időszakkal rendelkezik: júniustól szeptemberig találkozhatunk vele, júliusi rajzási csúccsal (Nógrádi és Uherkovich 2002).

Hydropsyche guttata (Pictet 1834)

Közép-Európában megfigyelhető faj (Malicky 2017). Magyarországon eltűnően lévő, amelynek három példányát sikerült begyűjteni a nyolcvanas években, Szócén, a Mecsekben és Kőszegen (Nógrádi 1985). A kilencvenes évektől nem került elő újra. Ukrajnából nem rendelkezünk semmilyen adattal a fajról. Lárva áramlaskedvelő, köves aljzaton él, de előfordul vízinövényeken és fatörmelékben is. Többféle táplálkozási mód jellemző rá, amelyek közül a szűrő életmód dominál.

Ceraclea riparia (Albarda 1874)

Európában széles elterjedéssel jellemezhető, egyedül a nyugat-mediterrán területekről, a Nyugat-Balkánról, Nagy-Britanniából és Észak-Európából hiányzik (Malicky 2017). Sok országban, főleg Nyugat-Európában, a faj veszélyeztetett vagy eltűnt, valószínűleg azért, mert a faj élőhelyeül szolgáló nagy folyók többsége erősen szennyezett vagy szabályozott ezekben az országokban (Waringer és társai 2005). Köves kavicsos aljzaton él, de előfordul homokos üledékben is. Júniusban és júliusban rajzik.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönettel tartozom *Dr. Oláh János* professzor úrnak, aki nélkülözhetetlen segítséget nyújtott a határozási feladatok elvégzésében. Köszönet illeti *Dr. Nagy Sándor Alex* tanár urat és *Dr. Móra Arnold* tanár urat, akik hasznos javaslatokkal, észrevételeikkel járultak hozzá a tanulmány elkészítéséhez. A kutatás az Emberi Erőforrások Minisztériuma ÚNKP-17-2 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának támogatásával készült. Szanyi Szabolcs munkáját az SHA Alapítvány Collegium Talentum programja támogatta.

IRODALOMJEGYZÉK

Bertuetti E., Lodovici O., Valle M. (2001). The caddisflies of the river Po (Insecta, Trichoptera). La Rivista del Museo Civico di Scienze Naturali "Enrico Caffi" Bergamo, 20: 87-97. [in Italian]

Dohet A. (2002). Are caddisflies an ideal group for the biological assessment of water quality in streams? Nova Supplementa Entomologica (Proceedings of the 10th International Symposium on Trichoptera), 15: 507-520.

Fodor I. (1999). A Fekete- vagy Szernye-mocsár. Napkút Kiadó, Budapest.

Godunko R. J., Szczesny B. (2008). Catalogue of caddisflies (Insecta: Trichoptera) of Ukraine. National Academy of Sciences of Ukraine, Lviv.

Górecki K. (2011). First records of *Oecismus monedula* (Hagen, 1859) and *Oecetis testacea* Curtis, 1834 (Trichoptera) from Ukraine. Polish Journal of Entomology, 80: 485-492.

Graf W., Murphy J., Dahl J., Zamora-Munoz C., López-Rodríguez M.J. (2008). Distribution and ecological preferences of European freshwater organisms, Volume 1- Trichoptera. Pensoft Publishers, Sofia-Moscow.

Hargitai Z. (1943). Adatok a Beregi-sík erdeinek ismeretéhez. Debreceni Szemle, 17: 65-67.

Holzenthal R. W., Blahnik R. J., Prather A. L., Kjer K. M. (2007). Order Trichoptera Kirby, 1813 (Insecta), Caddisflies. Zootaxa, 1668: 639-698.

Ivlev V. S., Ivasik V. M. (1961). Materialy po biologii gornyh rek sovetskogo Zakarpat'ia [The materials on the biology of the mountain rivers of the Soviet Zakarpat'ia]. Trudy Vsesoiuznogo Gidrobiologicheskogo Obshchestva, 11: 171-188. [in Russian]

Kiss O. (2002). Diversity of Trichoptera. Cinóber Gyorsnyomda, Eger.

Kohut E., Höhn M., Jámborné B. E. (2006). A Masonca mocsárrét botanikai vizsgálata. Acta Beregsasiensis, 5 (2): 157-167.

Laudee P., Prommi T. (2011). Biodiversity and distribution of Trichoptera species along the Tapee River, Surat Thani Province, southern Thailand. Zoosymposia, 5: 279-287.

Lenat D. R. (1993). A biotic index for the southeastern United States: derivation and list of tolerance values, with criteria for assigning water-quality ratings. Journal of the North American Benthological Society, 12: 279-290.

Malicky H. (2017). Trichoptera. Fauna Europaea version 2.6. Available from: <http://www.faunaeur.org> (accessed 30 July 2017).

Malicky H. (2004). Atlas of European Trichoptera (Second Edition), Springer, Neatherlands.

Málnás K., Szitta E., Juhász P., Müller Z., Kiss B. (2014). Records of caddisfly larvae (Trichoptera) from the Kerca stream. Folia Historico-Naturalia Musei Matraensis, 38: 91-96.

Móra A., Juhász P., Kiss B., Müller Z., Málnás K. (2014). The larva of *Parasetodes respersellus* (Rambur 1841) with notes on its habitat and European distribution (Trichoptera: Leptoceridae). Zootaxa, 4: 563-572.

Morse J. C. (2011). The Trichoptera World Checklist. Zoosymposia, 5: 372-380.

Murgoci A. (1969). *Parasetodes respersella* (Rambur) (Trichoptera) din bazinul cursului inferior al Dunării. Comunicări de zoologie, 7: 107-114.

Nagy A., Szanyi Sz., Molnár A., Rácz I. A. (2011). Preliminary data on the Orthoptera fauna of the Velyka Dobron Wildlife Reserve (west Ukraine). Articulata, 26 (2): 123-130.

Nógrádi S., Uherkovich Á. (1999). Protected and threatened caddisflies (Trichoptera) in Hungary. Proc. 9th Int. Symp. on Trichoptera, 291-297.

Nógrádi S., Uherkovich Á. (2002). Magyarország tegzesei (Trichoptera). Dunántúli Dolgozatok Természettudományi Sorozat, 11. Baranya megyei Múzeumok Ig., Pécs.

Nógrádi S. (1985). Further caddisfly species new to the Hungarian fauna (Trichoptera). Fol. Ent. Hung., 46: 129-135.

Resh V. H. (1993). Recent trends in the use of Trichoptera in water quality monitoring. In: Proceedings of the 7th International Symposium on Trichoptera, Otto, C. (ed.), Backhuys Publishers, Leiden, 285-291.

Resh V. H., Rosenberg D. M. (1984). The ecology of aquatic insects. Praeger Publishers, New York.

Stibeltsov S. G. (2013). Preliminary data on fauna and ecology of caddisflies (Insecta: Trichoptera) of south-eastern Ukraine. In: Hydroentomology in Russia and adjacent countries: Materials of the Fifth All-Russia Symposium on Amphibiotic and Aquatic Insects, Prokin A. A., Petrov P. N., Zhavoronkova O. D. (eds.), Papanin Institute for Biology of Inland Waters, Russian Academy of Sciences, Filigran, Yaroslavl, pp. 195-200. [in Russian]

Szanyi Sz. (2011). A volt Szernye-láp környékének nagylepke-együttese és faunaösszetétele. Diplomadolgozat, Evolúciós Állattani és Humánbiológiai Tanszék, Debreceni Egyetem.

Szanyi Sz. (2012a). A Nagydobronyi Vadvédelmi Rezervátum és környéke nagylepkefaunája (Macrolepidoptera). Állattani Közlemények, 97(2): 171-180.

Szanyi Sz. (2012b). Újabb adatok Nagydobronyi környékének nappali lepkefaunájához (Lepidoptera: Papilionoidea, Hesperoidea). Calandrella, XV: 87-90.

Szanyi Sz., Katona K., Bernát N., Tamási K., Molnár A. (2015a). A Nagydobronyi Vadvédelmi Rezervátum (Kárpátalja, Nyugat-Ukrajna) gyepeinek flórájáról. Tájökológiai lapok, 13 (1): 1-8.

Szanyi Sz., Szócs L., Varga Z. (2015b). A Bockerek-erdő Macroheterocera faunájának állatföldrajzi és ökológiai jellemzése. Erdészettudományi Közlemények, 5 (1): 119-128.

Uherkovich Á., Nógrádi S. (1990). The Trichoptera fauna of the Great Hungarian Plain, Hungary. Folia Historico Naturalia Musei Matraensis, 15: 43-75.

Valle M. (2001). Contribution to the field of knowledge on Italian caddisflies (Insecta, Trichoptera). La Rivista del Museo Civico di Scienze Naturali "Enrico Caffi" Bergamo, 20: 59-86. [in Italian]

Waringer J., Graf W. (2014). The larva of (Fabricius, 1793) (Trichoptera, Leptoceridae). Zookeys, 445: 117-126.

Waringer J., Urbanic G., Rotar B. (2005). The larva of *Ceraclea riparia* (Albarda, 1874) (Trichoptera: Leptoceridae). Lauterbornia, 54: 165-166.

A SZERZŐK



SZANYI KÁLMÁN Tanulmányait a Debreceni Egyetem Biológia BSc szakán végezte 2017-ben. Jelenleg ugyanazon egyetem hidrobiológus MSc szakjának hallgatója. Kutatási területe a tegzes imágók vizsgálata.

SZANYI SZABOLCS a Debreceni Egyetem Juhász-Nagy Pál Doktori Iskolájának doktorjelöltje. Munkáját a Debreceni Egyetem Evolúciós Állattani és Humánbiológiai tanszékén végzi. Kutatási területe a Beregi-sík kárpátaljai részének rovar-faunisztikai felmérése, különös tekintettel a fitofág rovarközösségekre.

Vízi makrogerinctelen taxonok megjelenése Ipoly menti időszakos vízterekben

Szeles Júlia*, Tamás Márta*, Krakomperger Márton*, Bozóki Tamás*, Krasznai Eszter****, Gyulai István*, Kókai Zsuzsanna** és Várbíró Gábor***

* Debreceni Egyetem, TTK, Hidrobiológiai Tanszék. 4032 Debrecen, Egyetem tér 1.

** Debreceni Egyetem, TTK, Ökológiai Tanszék. 4032 Debrecen, Egyetem tér 1.

*** MTA Ökológiai Kutatóközpont Duna-kutató Intézet Tisza-kutató Osztály. 4026 Debrecen, Bem tér 18/c.

**** Pannon Egyetem, Limnológiai Tanszék. 8200 Veszprém, Egyetem tér 10.

Kivonat

Az Ipoly folyó árterében és hullámtérében végzett makroszkopikus vízi gerinctelen felmérésünk, jelentős információval szolgál a terület faunájáról. A mintavételi helyek egy része 2015-ben mesterségesen kialakított élőhely, így korábbi adatok nem álltak rendelkezésünkre. A mintavételi terület hullók és kétéltűek számára fontos szaporodó hely, így jelentős természetvédelmi értékkel bír. Célunk volt rávilágítani arra, hogy vajon ezek az élőhelyek a vízi gerinctelen faunának is hasonlóan kedvező életfeltételeket biztosítanak-e, ill. természetvédelmi státusz alapján fontos fajok megjelennek-e a területen. A vízi gerinctelen csoportok mellett, mértük néhány kémiai (nitrát- ion, nitrit-ion, ammónium- ion, klorid-ion, foszfát, kémiai oxigénigény) és fizikai (hőmérséklet, pH, vezetőképesség, oxigén tartalom) háttérváltozót. A makrofita vegetációt, fitoplankton, hulló, kétéltű és zooplankton faunát is felmértük, amely alapján vizsgálható a területre jellemző táplálkozási hálózat. A tizenhárom mintavételi helyet két típusba (holtmeder, anyaggödör) osztottuk méretük és vízellátottságuk alapján. Mindkét típus eltérő diverzitással és makroszkopikus közösséggel bír, és jelentős mértékben hozzájárul a terület természetvédelmi értékéhez.

Kulcsszavak

Mesterséges anyaggödör, holtmeder, Ipoly árter, makroszkopikus vízi gerinctelenek, fitoplankton, *Notonecta reuteri reuteri*.

Appearance of freshwater macroscopic invertebrate taxa in the ponds near the River Ipoly

Abstract

Our survey on freshwater macroscopic invertebrates on floodplain of River Ipoly provided significant information about the fauna of the area. The area we took samples from is important reproduction place for amphibians and reptiles, therefore it possesses significant conservation values. Our aim was to highlight if these habitats provide similarly favourable living conditions for freshwater macroscopic invertebrates too, and if species with important conservation status appear in the area. Beside freshwater macroscopic invertebrate groups we examined chemical (concentration of nitrate, nitrite, ammonium, chloride, phosphate, chemical oxygen demand) and physical (temperature, pH, conductivity, dissolved oxygen) parameters. We also examined macrophyte-vegetation, phytoplankton and amphibian-, reptile- and zooplankton fauna too, so the food web of the area can be examined. We classified the 13 sampling places into 2 groups, based on their size and water supply. Each group has different diversity and macroscopic community and is an important factor in the area's conservation value.

Keywords

Artificial pond, oxbow, floodplain of Ipoly River, macroinvertebrate, phytoplankton, *Notonecta reuteri reuteri*.

BEVEZETÉS

Magyarország alvízi helyzete miatt számos holtmeder és vizes élőhely színesíti hazánk arculatát. Kialakulásuk köthető mesterséges folyamatokhoz vagy természetes módon, a folyók meanderezésükből adódóan lefűződéssel is képezhetnek új holtmedreket, de napjainkban ez szinte lehetetlen. A már meglévő víztestek kitétek az antropogén szennyeződéseknek és zavarásoknak, valamint a természetes szukcessziós folyamatok változásainak (Kozák 2011, Padisák 2004). Ipoly folyó szabályozása viszonylag későn az 1975-ös években kezdődött. A területen található több a természetvédelmi hatóság által létrehozott élőhely (pl. anyaggödörök). Az árterben és hullámtérben előfordulnak holtmedrek, mély fekvésű területek, mocsárrétek, és belvizes szántók is (web1, web2).

Az EU Víz Keretirányelv (WFD, 2000) nem tér ki az időszakos állóvizek vizsgálatára, ellentétben a folyóvizekkel, habár a kis vízterek vizsgálata egyszerű (méretükből adódóan) és állapotuk jól ellenőrizhető

(Tatár és társai 2012). Az állóvizek vízi gerinctelen közösségeinek monitorozása fontos, hiszen indikátor szervezetek, környezeti változásokra gyorsan reagálnak (Voshell és társai 1997, Csányi és társai 2001). Állóvizeink makroszkopikus vízi gerinctelen közösségei jelentős diverzitással rendelkezhetnek, hasonlóan, mint a folyóvizeké. Állóvizekben diverz makrofita közösség tud megtelepedni, amelyhez változatos makrogerinctelen taxonok kötődhetnek (Maurer és társai 2014, Várbíró és társai 2015).

Az Európai Víz Keretirányelv célváltozóinak körébe beletartoznak még az algák, halak, és a biológiai szempontból fontos fizikai és kémiai paraméterek (Csányi és társai 2001). Az antropogén élőhelyek vizsgálatánál törekednünk kell arra, hogy komplexen ismerjük működéseit és funkcióit, nem csak egy élőlény közösséget vizsgálva. Így a több élő változó elemzésével összehasonlíthatóak természetes élőhelyekkel és azok referencia közösségeivel (Vad és társai 2017).

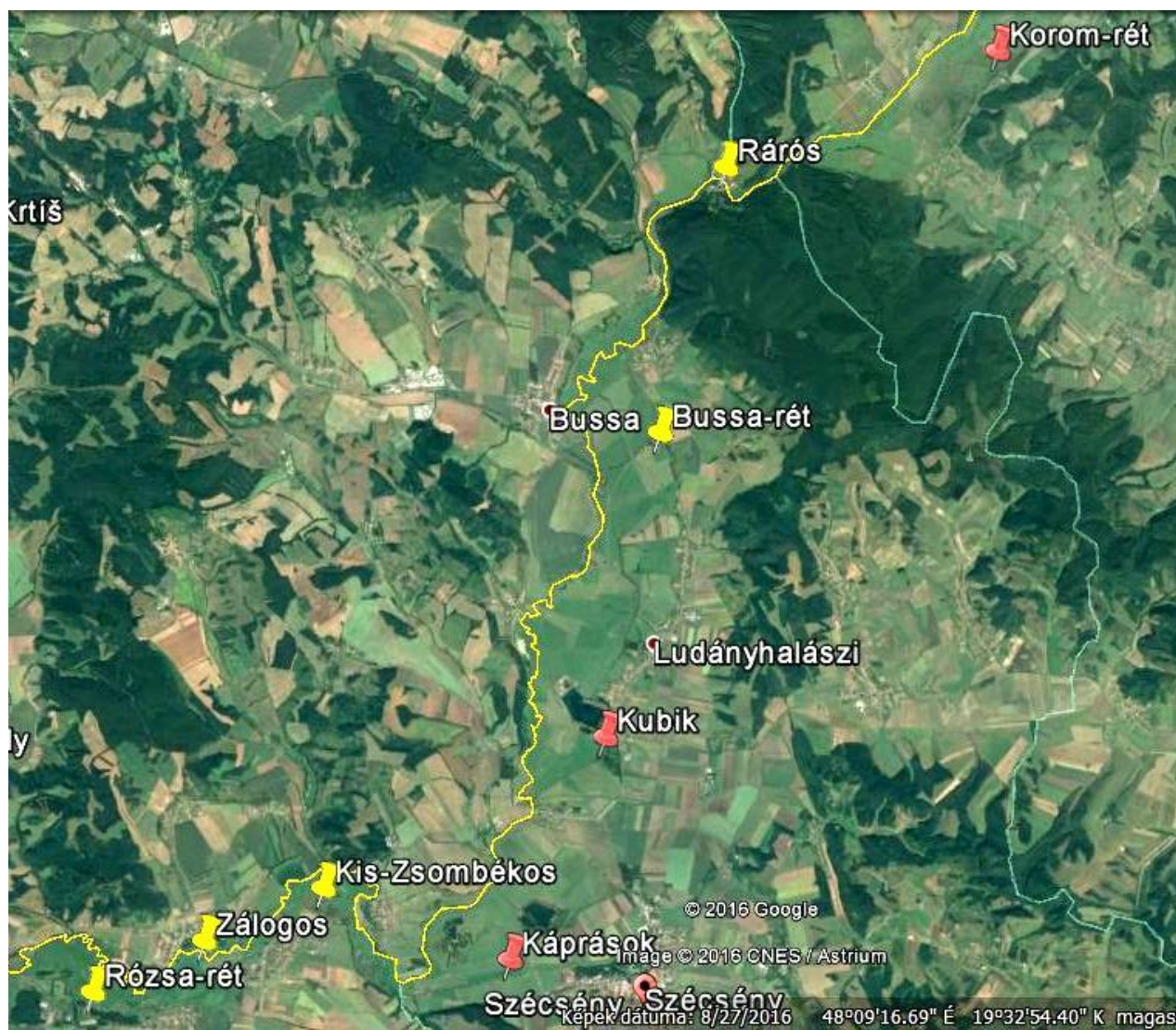
Célunk volt feltárni az élőlényközösségek összetételét, illetve azok összefüggéseit, a különböző élőhelyek és élőhely típusok figyelembevételével. Továbbá, hogy a különböző élőhely típusok milyen mértékben biztosítanak kedvező feltételeket a makroszkopikus vízi gerinctelen faunának. Előzetes felmérések alapján elmondható, hogy a mintavételi terület hullók és kétéltűek számára fontos szaporodó és élőhely. Így vizsgálatunk részét képezte, hogy a makroszkopikus vízi gerinctelen faunából is előfordulnak-e természetvédelmi státusz alapján fontos vagy ritka fajok.

ANYAG ÉS MÓDSZER

A mintavételi terület Magyarország északi részén, Nógrád megyében található. Az Ipoly folyó hullám és árteré-

ben 13 mintavételi helyen végeztük a vizsgálatunkat. A mintavételek 2016-ban (tavasz, nyár, ősz) illetve 2017-ben (tavasz, nyár) történtek.

Az élőhelyeket két típusba osztottuk, élőhelyi sajátosságuk, méretük és víz ellátottságuk alapján. Az anyag-gödrök kis kiterjedésű, alacsony vízállással jellemezhető víztestek: Korom-rét (KO1, KO2, KO3), Kubik (KU1, KU2), Káprások (KÁ1, KÁ2). Valamint holtmedrek amelyek, nagyobb kiterjedésű, állandóbb vízellátottsággal jellemezhető víztestek, amelyek a feltöltődés különböző szakaszaiban állnak: Rárós (RÁ1, RÁ2), Bussa-rét (BU1), Kis-Zsombékos (KZS1), Zálogos (ZÁ1), Rózsa-rét (RÓ1) (1. ábra).



1. ábra. A mintavételi helyek (Magyarázat: Sárga színnel jelölt mintavételi helyek a holtmedrek, pirossal jelöltek pedig az anyag-gödrök, Forrás: Google Earth.)

Figure. 1. The sampling places. (Note: Oxbows are notated with yellow and ponds are notated with red, Source: Google Earth)

A makroszkopikus vízi gerinctelenek gyűjtését „kick and sweep” módszerrel végeztük kézi egyelőháló segítségével (David és társai 1998). Makroszkopikus vízi gerinctelen faunából az alábbi taxonokat identifikáltuk: Gastropoda, Hirundinea, Malacostraca, Ephemeroptera, Odonata, Heteroptera, Coleoptera, Trichoptera. Emellett abiotikus és biotikus kísérőparamétereket is vizsgáltunk.

Figyelembe vettük a vízminták kémiai (nitrát-ion, nitrit-ion, ammónium-ion, klorid-ion, foszfát, kémiai oxigén-igény) és fizikai változóit (hőmérséklet, pH, vezetőképesség, oxigén tartalom) és a borítottságot, a mélységet, valamint az átlátszóságot. Valamint felmérésre került a makrofita vegetáció, fitoplankton, zooplankton, hullók és kétéltű fauna (WFD, 2000).

Az adatok kiértékeléséhez Past és CANOCO 5.0 programcsomagot használtunk, a makroszkopikus vízi gerinctelenek közösségei mintázatát NMDS analízissel, a 2016-os mintavételt Euklideszi távolsággal, a 2017-es mintákat Bray-Curtis távolsággal elemeztük. A környezeti paraméterek összefüggéseit RDA-val ábrázoltuk. Valamint a vízi gerinctelen és planktonikus élőlény közösséget co-correspondencia elemzéssel hasonlítottuk össze (Hammer és társai 2001).

EREDMÉNYEK

A 2016 és 2017-es tavaszi időszakokban nem fordult elő kiszáradás, de az utóbbi évben alacsonyabb vízállás volt tapasztalható a mintavételi területen. A 2016 tavaszi periódus alatt a KÁ1 és a KÁ2 mintavételi helyek száradtak ki, az őszi időszakra további kettő, a ZÁ1 és a RÓ1 holtmeder típusú helyek kerültek szárazra. Az idei (2017) szárazságot követően két holtmederben nem történt kiszáradás a 13 mintavételi helyből a RÁ2 és a BU1 mintavételi helyek maradtak vízzel kitöltöttek.

Makroszkopikus gerinctelen taxonokból összesen 136 fajt identifikáltunk melynek nagy részét Coleoptera csoport tette ki 77 taxonnal, ezt követi a Heteroptera csoport 19 és az Odonata és Gastropoda csoportok 11-11 fajszámmal. A holtmedrek közül a Rárós-2 mintavételi helyen a legnagyobb a diverzitás, ahol összesen 46 taxon fordult elő. Az anyaggödörök esetében a Kubik-2 mintavételi hely volt a legnagyobb 45 fajjal. A vizsgált időszakban fitoplakton közösségekből 155 taxon került identifikálásra, hüllő, kételtű faunából 9 faj előfordulását tapasztaltuk a területen.

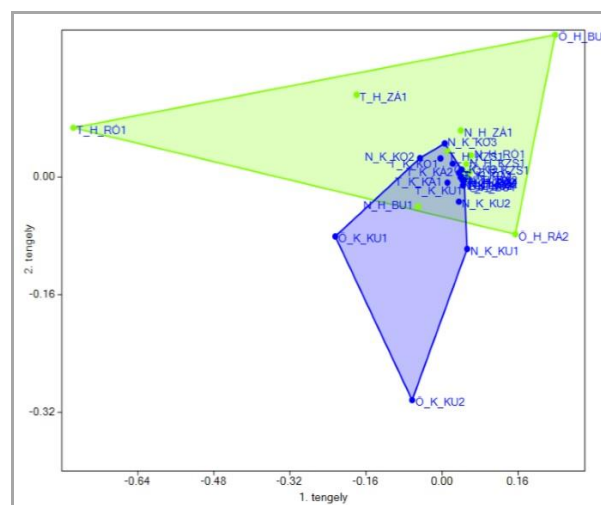
A markozoobentosz egyedszám adatok alapján elmondható, hogy a csigák taxonjai a legmeghatározóbbak, de ezek közül nagyobb arányban közönséges fajok kerültek elő: *Planorbis corneus*, *Planorbis planorbis*, *Lymnea stagnalis*. Előfordulásuk gyakorisága összefüggésbe hozható a növény állománnyal. A holtmedrekben, ahol dúsabb makrofita állományt tapasztaltunk jelentősebb egyedszámokat mutattak, illetve a kubikgödörök esetében a KU1 mintavételi helyen, ahol szintén dús vízi növényzet volt megfigyelhető.

Hasonló tendenciát követettek az Ephemeroptera csoport fajai is, de ezek a taxonok leginkább a holtmeder típusú élőhelyeket preferálták. A Coleoptera csoport fajai, az anyaggödörökben fordultak elő nagyobb egyedszámmal, de ez nem meglepő, hiszen a vízi bogarak közül számos faj előfordul időszakos vizekben (Móra és társai 2001). A Crustaceae csoport leggyakoribb faja *Asellus aquaticus* volt, amely némely élőhelyen tömegesen előfordult, 2016 tavaszi időszakában *Lepidurus apus* képviseltette magát 2 egyeddel, de a 2017-es időszakban nem került elő.

A mintavételi területen számos ritka faj előkerült, amelyek közül kiemelendő, *Lestes viridis/parvidens* fajpár valamint, *Lestes virens* és a védett *Sympetrum depressiusculum* szitakötő fajok. Külön kiemelendő a Rózsa-rét mintavételi hely, ahol 2016 nyári időszakban előkerült *Notonecta reuteri reuteri* hanyattúszó poloska, amelynek utolsó feljegyzése egy 1934-es Érd melléki adat (Boda és társai, 2015). Ugyan erről a mintavételi

helyről a 2017 tavaszi időszakban előkerült a Coleoptera csoportból *Halipus maculatus*. Valamint a mintavételi helyeken előkerült a kételtű faunából a pettyes göte (*Lissotriton vulgaris*) és a vörös listás dunai göte (*Triturus dobrogicus*).

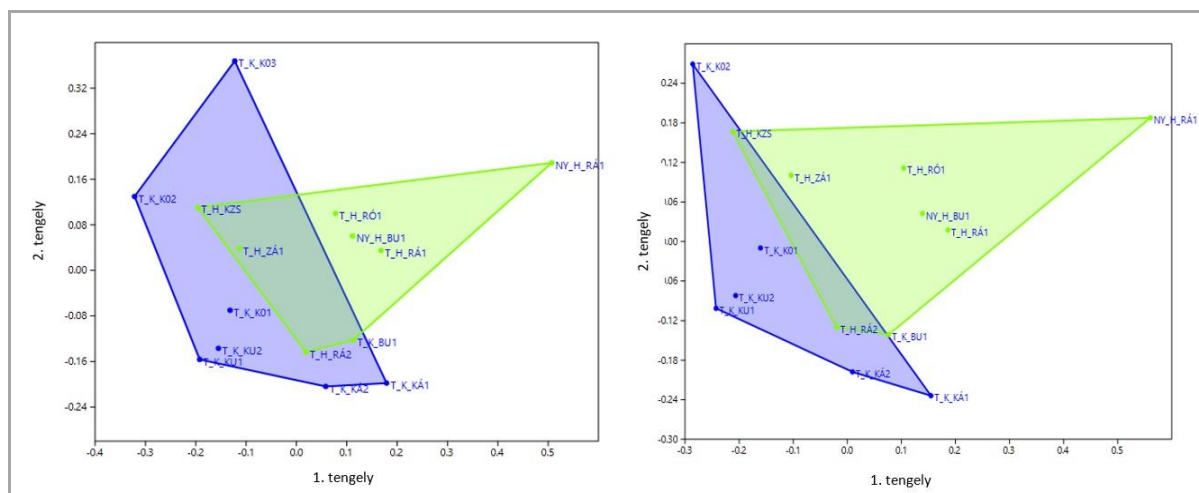
A mintavételi helyek NMDS analízise kimutatta, hogy makroszkopikus gerinctelen fauna alapján a 2016-os évben két élőhely típus között különbség van. Amelyet az elvégzett PERMANOVA teszt szignifikáns különbséggel igazol ($p = 0.0073$). A különbségek oka feltehetőleg a vízszint csökkenése, valamint a kiszáradás, illetve az eltérő makrofita vegetáció. A különbséget leginkább a holtmedrek elválása okozza (RÁ1, RÁ2, RÓ1) a nyári és az őszi időszakokban. Az anyaggödörök ebben az évben hasonlóságot mutatnak az eltérő időszakokban (2. ábra).



2. ábra. NMDS analízis, mintavételi helyek ábrázolása makroszkopikus gerinctelen taxonok alapján, 2016 évi mintavételek adatai alapján (Megjegyzés: zöld- holtmedrek, lila- anyaggödörök)
Figure 2. NMDS analysis, the representation of sampling places based on macroscopic invertebrate taxa sampled in 2016 (Note: green – oxbows, purple – ponds)

A gerinctelen fajok megjelenése kísérőparaméterek függvényében a vártakkal megegyező eredményeket hozott. A holtmedrekben a magasabb oxigén tartalomhoz kötődő élőlények jelentek meg az Odonata és Ephemeroptera taxonokból. Az anyaggödörökben pedig a nagyobb tápanyagtartalom volt meghatározó. Az itt megjelenő *Asellus aquaticus* tömeges előfordulása magyarázható egy extrém terheléssel, amelyet egy szarvasmarha borjú teteme okozott a Korom-3 mintavételi helyen. Korábbi vizsgálaton kívüli időszakban pusztulhatott el, csontváza száraz időszakban jól látható a gödör alján (3. ábra).

A 2017-es mintavételek tavaszi időszaka nagyobb különbségeket mutat, amelyet PERMANOVA teszt is igazol ($p = 0.0494$). A két típus különbözik, de ebben az évben az adott típuson belüli élőhelyeknél is nagyobb különbségeket tapasztaltunk. Az egy területen elhelyezkedő mintavételi helyek faunája nem sokban tért el egymástól. A mintavételeket megelőzően az Ipoly nem áradt, nem öntötte el a területet, így vízutánpótlás csapadékból, talajvízből történhetett. Az előző évben a nyári időszakban vízszint csökkenés után a medrek betöményedtek, így az ebből adódó különbségek felerősödtek (4. ábra).



6a és 6b. ábra. NMDS analízis, mintavételi helyek elkülönülése, fitoplankton alapján (Megjegyzés: zöld- holtmedrek, lila- anyaggyödrök, 6a. ábra (bal oldali), KO3 mintavételi helyel, 6b. ábra (jobb oldali) KO3 mintavételi hely nélkül)

Figures 6a and 6b. NMDS analysis, the separation of the sampling places based on phytoplankton (Note: green – oxbows, purple – ponds, Figure 6a. (on the left) with KO3 sampling place, Figure 6b. (on the right) without KO3 sampling place)

Elkülönülésük, a fitoplankton közösségek ökológiai tulajdonságaival magyarázható a kubikgyödrökben nagyobb arányban előforduló *Chrysococcus rufescens*, *Cryptomonas marssonii* mixotróf táplálkozású, önálló mozgásra képes ostoros alga fajok. Ellentétben *Gomphonema sp.*, amelyek növényhez kötődő élőlények, így a nagyobb makrofita állomány mellett voltak gyakoriak, tehát a holtmedrekben voltak meghatározóbbak (Ács és Kiss 2004, Borics 2015) (1. táblázat).

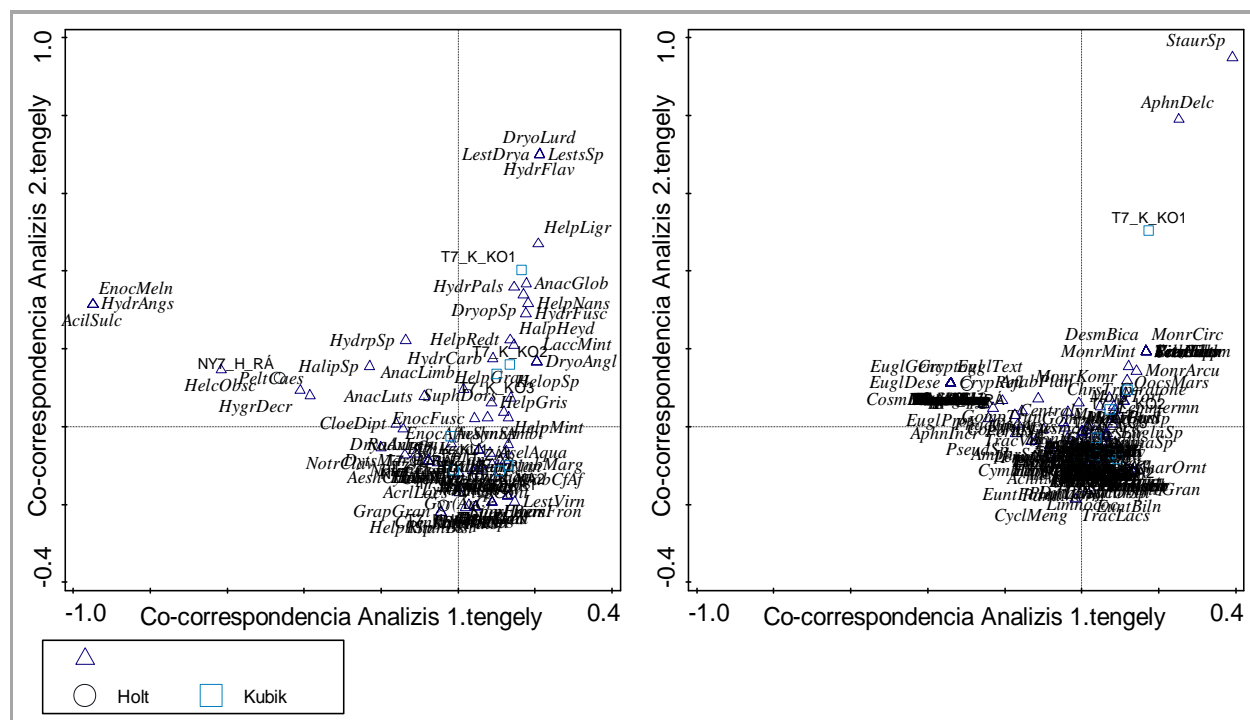
Két élőlény közösség összehasonlítására co-correspondencia analízist végeztünk, amely marginális szignifikanciát mutatott ($p=0,07200$) (7. ábra).

1. táblázat. A meghatározó fitoplankton taxonok előfordulásai a két élőhely típusban (biomassza mg L⁻¹)

Table 1. The occurrence of determinate phytoplankton taxa in the 2 habitat types (biomass mg L⁻¹)

Taxon	Kubik		Holtmeder
<i>Gomphonema sp.</i>	0.18	<	1.27
<i>Chrysococcus rufescens</i>	0.97	>	0.195
<i>Cryptomonas marssonii</i>	1.24	>	0.907

További élőlény csoportok kiértékelése még nem történt meg, további vizsgálatok szükségesek a terület leírásához, illetve a bővebb környezeti és biotikus változók magyarázatot adhatnak a makroszkopikus vízi gerinctelen fajok megjelenésére.



7. ábra. Co-correspondencia teszt, Makrogerinctelen és fitoplankton közösségek megjelenése (Megjegyzés: Bal oldali ábra gerincteleneket ábrázolja, a jobb oldali ábra fitoplankton taxonokat)

Figure 7. Co-correspondence test, the occurrence of macroscopic invertebrate and phytoplankton communities (Note: On the left invertebrates, on the right phytoplankton taxa are represented)

ÖSSZEFOGLALÁS

Összességében elmondható, hogy a mintavételi helyek sérülékeny vízterek, ha nem a kiszáradás veszélyezteteti őket, így kezelésük további fennmaradásuk miatt fontos.

A makroszkopikus vízi gerinctelenek közösségei alapján a kubikgödrök nagy részének a faunája nem egyenrangú a holtmedrek fajkészletével, viszont fontosak egy terület diverzitásának növelésében. Nem a legnagyobb diverzitású medrekben fordulnak elő a védett vagy ritka fajok, amely eredmény párhuzamba hozható a már idézett, sós bomba-kráter tavakban végett vizsgálat eredményeivel (Vad és társai 2017).

Több élőlényközösség alapján mintavételi típusok, és mintavételi helyek között is különbségek vannak. Morfológiai és vízjárási adottságaik miatt egymástól különböző, egyedi élőhelyek. Élőlényközösségek közötti (vízi makrogerinctelen, fitoplankton) összefüggések vizsgálata marginális egyezést mutatott, ehhez további élőlény közösségek elemzése szükségesek, a teljes tápláléklánc megismerése szempontjából.

A terhelés, évekig nyomon követhető volt a mintavételi területen. A vizsgált kisvízterek dinamikus ökoszisztémák, amelyek élőlényközösségeik alkalmazkodtak a környezet változásaihoz, gyakori kiszáradáshoz jellemzően r-stratégista fajok szaporodásuk és fennmaradásuk adaptálódott ezekhez az élőhelyekhez (Padisák 2004). A vizes élőhelyek általános és legfontosabb tulajdonsága, hogy menedékhelyül szolgálnak az ártéren és hullámtéren előforduló és diszpergációra képes fajok számára, így ezeknek a rendszereknek megőrzése kiemelten fontos (Papp és társai 2002).

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönöm a határozásban való segítséget Dr. Müller Zoltánnak és Dr. Málnás Kristófnak, a lehetőséget Harmos Krisztiánnak a Bükk Nemzeti Park Igazgatóság természetvédelmi őrének.

„Emberi Erőforrások Minisztériuma ÚNKP-17-2 kód-számú Új Nemzeti Kiválóság Programjának támogatásával készült.”

IRODALOMJEGYZÉK

Ács É., Kiss K. T. (2004). Algalógiai Praktikum. Eötvös Kiadó, Budapest.

Boda P., Bozóki T., Vásárhelyi T., Bakonyi G., Várbíró G. (2015). Revised and annotated checklist of aquatic and semi-aquatic Heteroptera of Hungary with comments on biodiversity patterns. *ZooKeys*, 501, 89–108.

Borics G. (2015). Felszíni vizek fitoplankton alapú ökológiai állapotértékelése. MTA Ökológiai Kutatóközpont, Debrecen.

Csányi B., Juhász P., Kavrán V., Kovács T. (2001). Vízi makroszkopikus gerinctelen állatok (makrozoobenton) határozókulcsai. Témajelentés, Víz-

gazdálkodási Tudományos Kutató Intézet, Budapest, 86 pp.

David S. M., Somers K. M., Reid R. A., Hall R. J., Girard R. E. (1998). Sampling protocols for the rapid bioassessment of streams and lakes using benthic macroinvertebrates. Ontario Ministry of Environment and Energy, Data report.

Hammer, Ø., Harper, D. A. T., Ryan, P. D. (2001). PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica* 4, 1-9pp.

Kozák L. (2011). Élőhely kezelés. Debreceni Egyetem. Agrár- és Gazdálkodástudományok Centruma.

Maurer K. M., Stewart T. W., Lorenz F. O. (2014). Direct and Indirect Effects of Fish on Invertebrates and Tiger Salamanders in Prairie Pothole Wetlands. *Wetlands* Issue. 4 pp 735–745.

Móra A., Csabai Z., Müller Z. (2001). Vízi Makroszkopikus Gerinctelenek vizsgálata a Körös–Maros Nemzeti Park illetékességi területén (Odonata, Coleoptera, Trichoptera). *A Puszta* 2000: 90–138.

Padisák J. (2004). Általános limnológia. Egyetemi tankönyv kézirat, Veszprém.

Papp M., Kovács T., Janata K. (2002). Ember-Erdő-Kistavak. *Erdészeti Lapok*. 137/6: 172-173

Tatár S., Bajomi B., Balován B., Tóth B., Sallai Z., Demény F., Urbányi B., Müller T. (2012). Élőhely-rekonstrukció lápi halfajok számára. *Természetvédelmi Közlemények*. 1216-4585

Vad C. F., Péntek A. L., Cozma N. J., Földi A., Tóth A., Tóth B., Böde N. A., Móra A., Ptacnik R., Ács É., Zsuga K., Horváth Z. (2017). Wartime scars or reservoirs of biodiversity? The value of bomb crater ponds in aquatic conservation. *Biological Conservation* 209:253–262.

Várbíró G., Boda P., Csányi B., Szekeres J. (2015). Módszertani útmutató a makroszkopikus vízi gerinctelenek élőlénycsoport VKI szerinti gyűjtéséhez és feldolgozásához.

Voshell J. R., Smith E. P., Evans S. K., Hudy M. (1997). Effective and scientifically sound bioassessment: opinions and corroboration from academe. *Human and Ecological Risk Assessment* 3: 941–954.

WFD (2000). Directive of the European Parliament and of the Council 2000/60/EC Establishing a framework for community action in the field of water policy. In: WFD (ed). vol PECONS 3639/1/00 REV 1., European Union, Luxembourg.

Internetes hivatkozások

web1. <https://hu.wikipedia.org/wiki/Ipoly>

web2. [http://vpf.vizugy.hu/reg/ovf/doc/1-8%20Ipoly%20alegység%20JVJK%20%20vitaanyag%20\(KDVVIZIG\).pdf](http://vpf.vizugy.hu/reg/ovf/doc/1-8%20Ipoly%20alegység%20JVJK%20%20vitaanyag%20(KDVVIZIG).pdf)

A SZERZŐK

SZELES JÚLIA Tanulmányait a Debreceni Egyetem Természettudományi és Technológiai Karon, biológus szakon végezte (2016). Jelenleg a Debreceni Egyetem Természettudományi és Technológiai Kar hidrobiológus hallgatója (2016-tól). A Magyar Hidrológiai Társaság tagja.

TAMÁS MÁRTA Tanulmányait a Debreceni Egyetem Természettudományi és Technológiai Karon, biológus szakon végezte (2016). Jelenleg a Debreceni Egyetem Természettudományi és Technológiai Kar hidrobiológus hallgatója (2016-tól). A Magyar Hidrológiai Társaság tagja.

KRAKOMPERGER MÁRTON Tanulmányait a Debreceni Egyetem Természettudományi és Technológiai Karon, környezettan szakon végezte (2016). Jelenleg a Debreceni Egyetem Természettudományi és Technológiai Kar hidrobiológus hallgatója (2016-tól).

BOZÓKI TAMÁS Tanulmányait Eszterházy Károly Főiskolán, Természettudományi Karon, környezettan (2015). Jelenleg a Debreceni Egyetem Természettudományi és Technológiai Kar hidrobiológus hallgatója (2016-tól). A Magyar Hidrológiai Társaság tagja.

KRASZNAI ESZTER Az MTA Duna-kutató Intézet, Tisza-kutató Osztályának fiatal kutató munkatársa. A Magyar Hidrológiai Társaság tagja.

GYULAI ISTVÁN Tanulmányait a Debreceni Egyetem Természettudományi és Technológiai Karon, környezetkutató ökológus (2008) végezte. Majd a Debreceni Egyetem Juhász-Nagy Pál Doktori Iskola, Környezettudományi PhD hallgatója (2008-2010). Jelenleg a Debreceni Egyetem, Hidrobiológiai Tanszékének egyetemi tanársegéde. A Magyar Hidrológiai Társaság tagja.

KÓKAI ZSUZSANNA A Debreceni Egyetem Juhász-Nagy Pál Doktori Iskola, Környezettudományi PhD hallgatója.

VÁRBÍRÓ GÁBOR Az MTA Duna-kutató Intézet, Tisza-kutató Osztályának tudományos munkatársa. Kutatási területe az álló- és folyóvízi rendszerek élőlényközösségei diverzitásának, valamint tér és időbeli változásainak vizsgálata.

A Fertő vizét és üledékét alkotó baktériumközösségek vizsgálata újgenerációs DNS-szekvenálással

Szuróczi Sára*, Szabó Attila*, Korponai Kristóf*, Felföldi Tamás*, Márialigeti Károly*, Tóth Erika*

*ELTE Eötvös Loránd Tudományegyetem, Mikrobiológiai Tanszék; 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/c.

Kivonat

Újgenerációs DNS-szekvenálás segítségével vizsgáltunk a Fertőn 2015 novemberében és 2016 júliusában egy nyílt vízi és két makrofiton által borított területet (a Kis-Herlakni belső tavat és a nádállományban futó Külső-övcatornát). Az üledék- és a vízmin-ták baktériumközösségei jelentős eltéréseket mutattak, bár minden mintában jellemzően magas volt a proteobaktériumok aránya. Számos tenyésztésbe nem vont taxont azonosítottunk. A nyílt vízben az Actinobacteria phylumba sorolható édesvízi hgcI klád, a 'CL500-29 marine group' és a *Synechococcus* nemzetség volt domináns. A belső tó és a nádas vízének baktériumközössége egymás-hoz sok szempontból hasonlított: más magyarországi szikes tavakban is jelen lévő *Flavobacterium*, *Fluviicola* (Bacteroidetes) nem-zetségeket, a '*Candidatus Aquiluna*' csoportot (Actinobacteria) és a Comamonadaceae családba (Betaproteobacteria) tartozó, egy eddig tenyésztésbe nem vont taxont mutattuk ki nagy számban. Az üledékminták esetén dominánsak voltak a Chloroflexi törzs Anaerolineaceae és GIF9 csoportjainak tagjai, illetve a Deltaproteobacteria osztály kénvegyületeket oxidáló *Thiobacillus* és a te-nyészhető képviselőket nem tartalmazó Sva0485 csoportjai voltak. Összességében elmondható, hogy minden általunk vizsgált mintavételi hely jelentős prokarióta diverzitással rendelkezik, a késő őszi és nyári minták egymástól elkülönülnek, továbbá a makrofiton borítottságú területek planktonikus baktériumközösségei eltérnek a nyílt víztől.

Kulcsszavak

Fertő, újgenerációs DNS-szekvenálás, baktériumközösség, üledék, bakterioplankton.

Bacterial communities inhabiting the water and sediment of Lake Fertő as revealed by next-generation DNA sequencing

Abstract

The bacterial community of an open water, and two macrophyton associated area (Kis-Herlakni inner pond and a reed-covered area of the external belt) of Lake Fertő were investigated in November 2015 and in July 2016 using next-generation DNA sequencing. Bacterial communities of the sediment and water samples showed significant differences, although the relative abundance of Proteobacteria was high in all samples. Several uncultivated taxa were identified. In the open water, the hgcI clade, the 'CL500-29 marine group' (both belong to Actinobacteria) and genera *Synechococcus* were dominant. Planktonic bacterial community of the inner lake and the reed-covered area showed significant similarities with each other: genera *Flavobacterium*, *Fluviicola* (Bacteroidetes), members of '*Candidatus Aquiluna*' and an unclassified member of family Comamonadaceae (Betaproteobacteria) were identified with high relative abundances; these taxa were also identified from other Hungarian lakes. In the sediment samples Anaerolineaceae, group GIF9 (Chloroflexi), the sulfide/sulfur-oxidizing *Thiobacillus* and the unclassified group SVA0485 (Deltaproteobacteria) were dominant. Overall, all of the studied areas were characterised by diverse prokaryotic communities: significant differences have been observed between the bacterial community composition of the summer and autumn samples, and differences could be observed in the planktonic bacterial communities of the macrophyton associated areas and the open water.

Keywords

Lake Fertő, next-generation DNA sequencing, bacterial community, sediment, bacterioplankton.

BEVEZETÉS

A Fertő Európa legnagyobb sekély, alkalikus szikes tava (315 km²), főleg nátrium, magnézium, hidrogén-karbonát, szulfát és klorid-ionokat tartalmaz nagy koncentrációban (*Dinka és társai 2004*). A magyar tórész 85%-át (75 km²) nádas (*Phragmites australis*) fedi. A makrofiton borítottság növekedése a baktériumok mennyiségének és aktivitásának növekedését eredményezheti, illetve azok diverzitását is befolyásolhatja. Az ilyen litorális rendszerek esetében a szerves szénvegyületek döntő hányada a fitoplankton helyett a vízi makrofitontól származik (*Stepanaukas és társai 2000*). A Fertő esetében mindkét típussal találkozhatunk: makrofiton által dominált és nyílt vízi (fitoplankton által dominált) területek egyaránt előfordulnak.

Jelen munkánk célja, hogy molekuláris módszerrel feltárjuk egy nagy szervetlen lebegőanyag tartalommal jellemezhető (turbid) nyílt vízi, és két nagy platina-szín

koncentrációjú (színes víztípusba tartozó), makrofiton által borított terület planktonjának és fenéküledékének baktériumközösség-összetételét egy őszi és egy nyári mintavétel során. Összehasonlító vizsgálataink során arra is választ kerestünk, hogy a mikrobaközösség összetételében és diverzitásában tapasztalunk-e különbségeket 1.) az eltérő turbiditású és makrofiton-borítottságú mintavételi pontok, 2.) a víz és üledékminták, illetve 3.) a mintavételi időpontok vonatkozásában.

ANYAG ÉS MÓDSZER

Mintavétel

A mintavétel 2015. november 10-én és 2016. július 18-án történt a Fertő három különböző élőhelyének víztéréből és üledékéből: az osztrák-magyar határon található nyílt vízi B0 pontról (É. sz. 47,735°; K. h. 16,719°), a Kis-Herlakni belső tóból (É. sz. 47,685°; K. h. 16,703°) és a nádállományban futó Külső-övcatornából (É. sz.

47,654°; K. h. 16,725°). A víz hőmérséklete a novemberi és júliusi mintavételkor a B0 ponton 9,8 °C és 18,2 °C, a Kis-Herlakni-tóban 9,9 °C és 20,2 °C, a nádas vizében pedig 10,7 °C és 21,2 °C volt. A kompozit vízmintákat vízoszlop mintavevővel gyűjtöttük, az aktuális vízmélység figyelembevételével. Az üledékek mintázása üledék mintavevő henger segítségével történt. A kompozit vízmintákból 1-1 liternyit autoklávban sterilizált csavarkupakos üvegekben, az üledékoszlopokkal együtt hűtőszekrényben laboratóriumba szállítottuk, majd azokat feldolgozásig 4 °C-on tároltuk. A mintákból a mintavételt követő 24 órán belül elvégeztük a DNS-kivonást.

DNS-kivonás a víz- és üledékmintákból

A vízmintákból 250-250 ml-t 0,22 µm porúsátmérőjű szűrőn (GSWP típusú kevert cellulóz membránfilter, Millipore) átszűrtük, majd azokat feldolgozásig -20 °C-on tároltuk. Az üledékoszlopok felső 10 cm-es rétegeit steril körülmények között homogenizáltuk, majd azokból 1,5-1,5 g-ot szintén -20 °C-on lefagyasztottunk. A közösségi DNS-t a membránfilterekből és az üledékmintákból Ultraclean® PowerSoil DNA Isolation Kit (MoBio) segítségével a gyártó utasításai szerint vontuk ki, azzal a módosítással, hogy a mechanikai sejteltávolítást 2 percre csökkentve 30 Hz-en Mixer Mill MM301 típusú sejtmalomban (Retsch) való rázatással végeztük.

Újgenerációs DNS-szekvenálás és a baktériumtaxonok azonosítása

A baktériumtaxonok azonosításához polimeráz láncreakcióval a 16S rRNS-t kódoló génjük egy szakaszát szaporítottuk fel B341F (5' – CCT ACG GGN GGC WGC AG – 3') és B805NR (5' – GAC TAC NVG GGT ATC TAA TCC – 3') primerek segítségével a Szabó és társai (2017) által megadott protokoll szerint. Az újgenerációs DNS-szekvenálást Ion Torrent PGM™ platformon végeztük Ion PGM™ Template IA 500, Ion 314™ Chip v2 BC és Ion PGM™ Hi-Q™ View Sequencing kitek felhasználásával a gyártó protokollja szerint. A szekvenálást megelőzően a DNS minőségi ellenőrzése, illetve a szekvenálást követő bioinformatikai elemzések a Szabó és társai (2017) által részletesen ismertetett módon történtek.

EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELEÉSÜK

A víz- és üledékmintákból összesen 4506 és 2062 szekvenciát kaptunk. A mintákból összesen 18 különböző baktérium phylumot azonosítottuk, amelyek közül sok a kizárólag nem-tenyésztett képviselőket tartalmazó. Vizsgálataink szerint az üledék- és vízminták baktériumközösségei jelentős eltéréseket mutattak (1. ábra).

A Kis-Herlakni belső tó és a nádas vizének baktériumközössége mind phylum, mind nemzetség-szinten egymáshoz nagyfokú hasonlóságot mutattak, és elkülönültek a nyílt víz (B0 pont) baktériumközösségétől (1. ábra). A nyílt vízben az Actinobacteria phylum relatív abundanciája magasnak bizonyult (39,9% és 38,9%). Mellettük a Proteobacteria (26,8% és 21,6%) és a Cyanobacteria (16,4% és 14,7%) phylumok képviselői jelentek meg nagyobb számban. A vízmintákban a Proteobacteria phylumból döntően az édesvizekre jellem-

ző Betaproteobacteria osztály (Zwart és társai 2002) tagjait azonosítottuk. A Kis-Herlakni belső tó és a nádas vizében az Actinobacteria phylum aránya kisebb volt (15,7%-17,4%), míg a Bacteroidetes (37,9%-48,0%) illetve a Proteobacteria phylum (31,7%-36,5%) tagjai voltak számottevőek. Kimutatható volt számos, 2%-os relatív gyakoriság alatt előforduló phylum is (ezek az 1. ábrán „egyéb” kategóriában szerepelnek).

Az őszi és nyári vízminták baktériumközösségei között magasabb taxonómiai (phylum) szinten kevés eltérés mutatkozott. A nyílt vízi B0 pont esetében nyáron a Parcubacteria és Planctomycetes phylumok relatív aránya kismértékben nőtt (1,0%-ról 3,4%-ra, illetve 0,7%-ról 2,0%-ra), míg a Proteobacteria-é csökkent (26,8%-ról 21,6%-ra). A Kis-Herlakni-tó és a nádas vizében a nyári mintavétel során szintén kismértékben nőtt a Parcubacteria phylum relatív abundanciája, és a Firmicutes képviselői is megjelentek (1. ábra). Ezen taxonok megjelenését befolyásolhatja a környezet hőmérséklete.

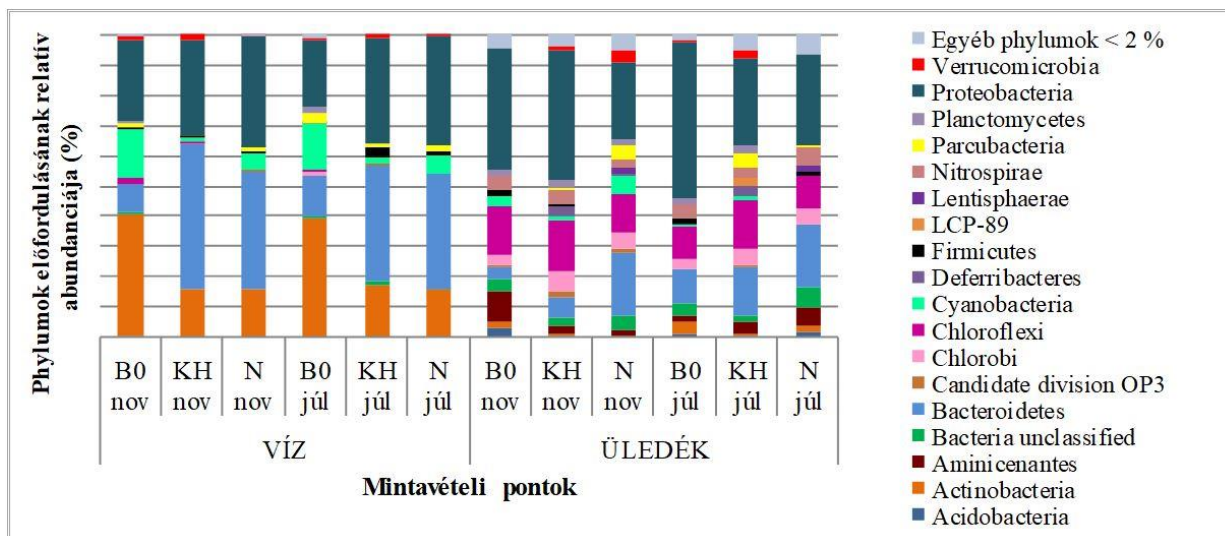
Az üledékmintákban a Proteobacteria phylum volt domináns (25,4%-51,2%), mellettük a Chloroflexi, a Bacteroidetes, a Chlorobi, a Nitrospirae és az Aminicenantés képviselt számottevő részesedést (1. ábra). A Proteobacteria-n belül főleg a Delta- és a Betaproteobacteria osztályok voltak jelentősek.

A nyílt vízből származó üledékmintákban november-ről júliusra megnőtt a Proteobacteria (40,6%-ról 51,2%-ra) és a Bacteroidetes (4,4%-ról 11,4%-ra) phylum aránya, míg az Aminicenantés részesedése lecsökkent (9,7%-ról 1,9%-ra). A Kis-Herlakni-tó üledékében számottevő változást elsősorban a Bacteroidetes phylum esetében mutattunk ki (relatív abundancia-változás 6,5%-ról 15,7%-ra), míg a nádas üledékében a legszembetűnőbb a Cyanobacteria és Verrucomicrobia phylum novemberről júliusra való eltűnése volt (1. ábra).

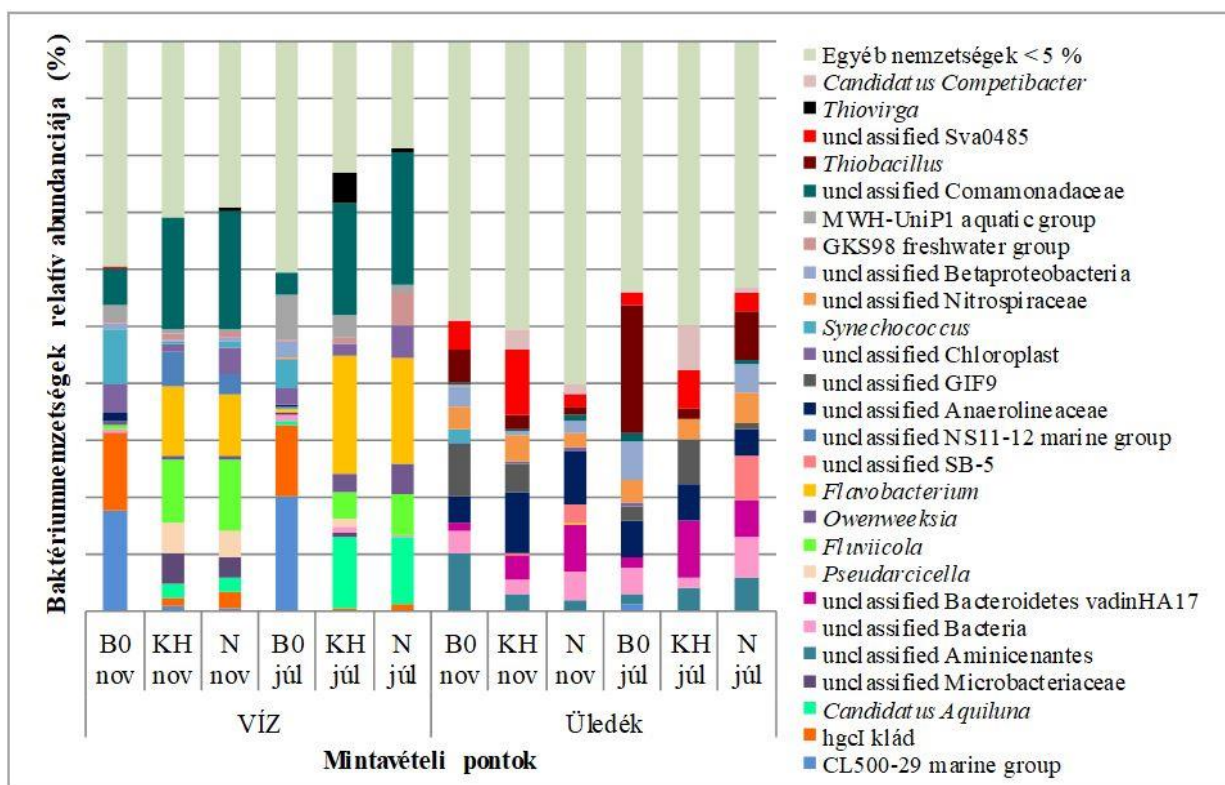
Ha az eredmények részletesebb felbontását nézzük, akkor a nyílt vízben domináns Actinobacteria phylumot nagyrészt tenyésztésbe nem vont csoportok (a hgcI klád és a 'CL500-29 marine group') alkották (2. ábra), előbbi részesedése a bakterioplankton közösségen belül 13,6% illetve 12,6%, utóbbié pedig 17,5% illetve 19,9% volt. Míg a hgcI klád (más néven acTH1 klád) egy édesvízi mikroorganizmusokat tartalmazó (Zwart és társai 2002) taxon, addig a 'CL500-29 marine group'-ot (más néven acIV kládot) (Newton és társai 2011) változatos vizes élőhelyekről mutatták ki [édesvízi oligotróf tavak (Urbach és társai 2001), oligoszalin tavak (Stepanaukas és társai 2003), Balti-tenger (Lindh és társai 2015a)]. Lindh és társai (2015b) kísérleteik során negatív összefüggést tapasztaltak az oldott szerves anyagok mennyisége (6 mg C x l⁻¹), valamint a 'CL500-29 marine group' és a hgcI klád közösségen belüli relatív abundanciája között. Ezt feltehetően alátámasztják az eredményeink is, mivel a Fertő nyílt vizénél egy nagyságrenddel magasabb CDOM értékű Kis-Herlakni belső tó és nádas vizéből (Szuróczi és társai 2017) csupán elenyésző arányban (0,2-2,8%) mutattuk ki ezt a két csoportot. Korponai és társai (2016)

szintén hasonló összefüggést tapasztalt a két csoport kapcsán egy zavaros és egy színes vízü szikes tó vizsgálata során: míg az oldott, színes szerves anyagokban

gazdag Sós-éréből szinte teljesen hiányoztak, addig a zavaros vízü Zab-székben akár a baktériumközösség 5-12%-át is kitették.



1. ábra. Baktérium phylumok megoszlása a Fertő különböző mintavételi pontjain
Figure 1. Distribution of bacterial phyla among the sampling points in Lake Fertő



2. ábra. A Fertő vizét és üledékét alkotó baktériumnemzetségek
Figure 2. Bacterial genera inhabiting the water and the sediment of Lake Fertő

A nyílt vízben nyáron és télen is jelen volt a cianobaktériumok közé tartozó *Synechococcus* nemzetség (9,5%, illetve 5,1%-os relatív gyakoriság). Felföldi és társai (2011a) a Fertő vizét vizsgálva meghatározó szerepet tulajdonítottak ennek a pikoplanktonba tartozó (<3µm) taxonnak az elsődleges termelésben, hasonlóan más kontinentális vizekhez (Crosbie és társai 2003, Nagy és társai 2015, Felföldi és társai 2011b). A B0 ponton a szervesanyag koncentráció egy nagyságrenddel volt nagyobb, mint a nádas és belső tó vizében mért érték

Szuróczi és társai (2017) és Somogyi és társai (2011) pedig megállapították, hogy a Fertőben a vízszlop turbiditásának növekedésével a pikoplankton maximális abundanciája, illetve a fitoplankton biomasszából való részesedése növekvő tendenciát mutat, így ezen szervezetek előfordulása nem meglepő mintáinkban. Ennek megfelelően a *Synechococcus* nemzetséget az alacsony szervesanyag tartalmú belső tó és nádas vízből télen csak nagyon kis százalékban (0,2% és 1,0%), nyáron pedig egyáltalán nem mutattuk ki.

A Betaproteobacteria osztály 'MWH-UniP1 aquatic group' elnevezésű csoportja egy, a Fertőhöz hasonlóan alkalikus vizű (pH: 8,86-8,96), Kínában található sekély tóból (Li és társai 2017) és a szintén édesvízi Hévíz-tóból (Krett és társai 2017) is előkerültek. Vaquer-Sunyer és társai (2016) pozitív korrelációt találtak az 'MWH-UniP1 aquatic group' és a környezet hőmérséklet értéke között. Jelen esetben ezen csoport a júliusi mintákban szintén nagyobb arányban volt jelen, mint a novemberiekben, tehát eredményeink megerősíteni látszanak a csoport hőmérséklet függését.

A nyílt vízben a júliusi vízmintáinkban megjelentek olyan nemzetségek is, amelyek novemberben nem, vagy csak nagyon kis százalékban voltak jelen: pl. a *Fluviicola*, *Flavobacterium* és a '*Candidatus Aquiluna*' (2. ábra). Ezen taxonok jelenléte inkább a Kis-Herlakni-tó, illetve a nádas vizére volt jellemző.

A Kis-Herlakni belső tó és a nádas vize jelentős hasonlóságot mutatott, és egyben elkülönültek a B0 pont vizétől. A belső tó és a nádas vizében mind novemberben, mind májusban egy, a Betaproteobacteria osztályba, azon belül a Comamonadaceae családba tartozó, tenyésztető képviselőket nem tartalmazó nemzetség dominált (19,7%-23,3%) (2. ábra). A Comamonadaceae egy sok szempontból heterogén összetételű baktériumcsalád, tagjaik változatos anyagcserével jellemezhetőek (Willems 2014), kemolitotróf vagy kemoorganotróf anyagcserét folytatnak, terminális elektron akceptorként oxigén helyett nitrátot is használhatnak (Willems és társai 1991).

Mellettük a *Flavobacterium* (Bacteroidetes) nemzetség is nagy számban jelent meg mindkét mintavételi helyen, relatív abundanciájuk nyárra majdnem kétszeresére nőtt. A nemzetség tagjai gyakoriak édesvízben, talajban, de tengervízből is izolálták már őket (McBride 2014). Kemoorganotróf szervezetekként számos képviselőjükre jellemző a makromolekulák (poliszaharidok, fehérjék) felhasználása. Gyakran felületekhez kötöttek találhatóak meg, amelyek lehetnek algasejtek, halak vagy szerves detritusz (McBride 2014). A szintén Bacteroidetes pylumba tartozó, édesvízi, szigorúan aerob, kemoheterotróf *Fluviicola* (O'Sullivan és társai 2005) nemzetség relatív aránya viszont júliusra lecsökkent (2. ábra). A *Fluviicola* nemzetségnek eddig két faja ismert csak, a *Fluviicola taffensis*, amely a hideg hőmérséklet-hez adaptálódott (4-25 °C között képes növekedni) (O'Sullivan és társai 2005) és a *Fluviicola hefeinensis*, amelyet szennyvízből izoláltak, és 30 °C-on növekszik optimálisan (Yang és társai 2014). Ha a Fertőben a *Fluviicola taffensis* faj van jelen, akkor a nyári magasabb hőmérséklet okozhatta a *Fluviicola* nemzetség mennyiségének lecsökkenését a Fertő vizében, de mivel csak nemzetség-szinten tudtuk azonosítani a taxonokat, a fenti állítást csak feltételez.

A '*Candidatus Aquiluna*' (Actinobacteria) relatív abundanciája jelentősen megnőtt novemberről júliusra (2,6%- és 2,7%-ról 12,6% és 11,8%-ra) mindkét, a nád-övben található mintavételi pontunkon. Teljes genom-szekvenálás alapján (Kang és társai 2012) az aktinorodopszin fehérjét kódoló gén szekvenciáját talál-

ták meg ebben a taxonban, amely elengedhetetlen a fény hajtotta proton pumpa működéséhez, ezáltal a fotoheterotróf anyagcsere fenntartásához. Elképzelhető, hogy e taxonnak a baktériumközösségen belüli arányai összefüggésben lehetnek a napsütéses órák számával.

Összességében mindhárom vízmintában előfordultak kemotróf és fototróf baktériumok, viszont míg a nyílt vízben a fikocianin pigmentet tartalmazó *Synechococcus* nemzetség képviselte a fototróf prokariótákat, addig a Kis-Herlakni-tó és a nádas mintákban az aktinorodopszint tartalmazó '*Candidatus Aquiluna*' nemzetség volt gyakori.

Az üledékmintákból irodalmi adatok alapján az aerob szervezeteken kívül számos fakultatív vagy obligát anaerob szervezetet mutattunk ki. A Kis-Herlakni-tó üledékében novemberben nagyobb arányban (11,7%) előforduló, de a többi iszapmintában is megjelenő (1,9%-6,5%) Deltaproteobacteria osztályba tartozó SVA0485 csoportot többben is kimutatták különböző üledékmintákból; köztük az utolsó jégkorszak alatt, kb. 25.000 éve képződött argentin tó üledékéből (Vuillemin és társai 2016), szulfidban gazdag fekete iszapú tengeri mintákból (Tanner és társai 2000) és a Szent Anna-tó üledékéből (Felföldi és társai 2016). Bar-Or és társai (2014) feltételezése szerint a csoport a vas(III) és a szulfát redukciójában vesz részt. A tó kén- és szervesanyag-körforgalmának részeseiként más szulfát-redukáló nemzetségek is kimutathatóak voltak: a Deltaproteobacteria osztályba tartozó *Desulfobulbus*, *Desulfocapsa*, *Desulfobacca*, *Desulfomonile*, *Desulfatiglans*, *Desulfatirhabdium*, az Epsilonproteobacteria osztályba tartozó *Sulfuricurvum* és *Sulfurimona*, továbbá a Betaproteobacteria osztályba tartozó *Sulfuritalea*. Ezen szervezetek valószínűleg a hidrolizáló mikroorganizmusok által "előemésztett", majd lesüllyedt kisebb molekulájú szerves anyagokat használják szénforrásként, miköben a SO₄²⁻-et redukálva H₂S-t termelnek, amelyet a vízben [*Chlorobium* (Chlorobi; Overmann 2006), *Thiovirga* (Gammaproteobacteria; Panda és társai 2017) nemzetségek] és az iszapban élő [(*Chlorobium*, *Thiovirga*, *Thiocapsa* (Gammaproteobacteria; Eimhjellen 1970) és *Beggiatoa* (Gammaproteobacteria; Jorgensen és Revsbech 1983), *Thiobacillus* (Betaproteobacteria) nemzetségek] kén-oxidálók fognak felhasználni. Ezek közül a *Thiobacillus* nemzetség fakultatív anaerob képviselői képesek nitrátot vagy vasat is használni elektron-akceptorként (Orlygsson és Kristjansson, 2014).

A Chloroflexi phylum Anaerolineaceae családjának képviselői mindegyik üledékmintában jelen voltak (4,7%-10,6%). Szigorúan anaerob, pigmentet nem tartalmazó, fotoszintézisre nem képes (Yamada és társai 2006) organotróf szervezetek. Általában édesvízi üledékből (Wise és társai 1997), eleveniszapból (Bradford és társai 1996) és óceán vízből (Giovannoni és társai 1996) mutatták ki őket, valószínűleg a Fertő üledékben lévő szerves anyagokat használják fel anyagcseréjük során. Az üledékmintákban a Chloroflexi phylum másik jelentős képviselőjét, a GIF9 csoportot szintén azonosították a Szent Anna-tó üledékéből (Felföldi és társai 2016). Számos tanulmány feltételezett összefüggést a szerves anyagban gazdag üledékek és a GIF9 csoport jelenléte között

(Teske és társai 2011). Az egyik ide tartozó OTU (RBG-2) genomjának elemzése alapján valószínűsítik, hogy homoacetogén fermentációra képes, továbbá lehetséges, hogy szaprofita életmódot folytat az üledékben, és az elpusztult növényi maradványok lebontása során felszabaduló energiát használja fel (Hug és társai 2013). Nagy valószínűséggel a Fertő esetében is az elpusztult nádas, hínárnövények vagy rence lebontásában lehet szerepe.

A Bacteroidetes phylumba tartozó VadinHA17 csoportot szintén mindegyik üledékmintában detektáltuk. Eddig számos anaerob reaktorból mutatták ki jelenlétüket, például a cukorgyártás során képződött vinasz mellékterméket lebontó reaktorból (Gordon és társai 1997), de Kínában egy halastó (Fan és társai 2017) és szubmerz növényzetű tó üledékében (Zhao és társai 2017) is jelen volt. Feltételezik, hogy szerepe lehet komplex rekalcitráns szerves vegyületek lebontásában (Baldwin és társai 2016).

Az Aminicenantes phylum egy tenyésztethető képviselőket nem tartalmazó csoportja minden üledékmintában jelen volt (1,7-9,7%) (2. ábra). A törzs képviselőit legnagyobb relatív arányban szénhidrogént tartalmazó helyekről mutatták ki, de szintén előfordul tengeri környezetekben (hidrotermális kúrtók, korallok felszíne) (Farag és társai 2014) és egyéb vizes élőhelyeken, például anoxikus szulfid- és kén-tartalmú forrásban (Youssef és Elshahed 2009). Legnagyobb mennyiségben inkább az alacsony oxigén-koncentrációjú és nem sós vagy alacsony sótartalmú környezetekben voltak jelen (Farag és társai 2014). A phylum képviselőit a Szent Anna-tó üledékében is detektálták (Felföldi és társai 2016). Valószínűleg részt vehet az aminosavak degradációjában, mivel L-aszpartát-oxidáz fehérjét kódoló gén szekvenciáját találták meg ebben a taxonban.

DNS-alapú molekuláris technikákkal több magyarországi szikes tavat is vizsgáltak. A zavaros („fehér”) típusba tartozó szabadszállási Zab-szék planktonikus baktériumközösségében szintén kimutatták a Fertő vízében is megtalálható 'CL500-29 marine group', hgcI klád és *Synechococcus* csoportokat, míg a színes („fekete”) típusba tartozó dunatétleni Sós-érből a *Fluviicola*, a *Flavobacterium*, és az 'NS11-12 marine group' képviselőit (Korponai és társai 2016). További zavaros típusba tartozó kiskunsági székeket vizsgálva a szabadszállási Büdös-szék vízének esetében nemzetség-szinten leggyakoribb a 'Candidatus Aquiluna' volt, amely júliusban a Fertő nádasövének planktonikus mikrobaközösségeiben nagyobb számban volt jelen. A dunatétleni Böddi-szék bakterioplanktonjában a Bacteroidetes phylum dominanciáját szintén megfigyelték, ellenben az Actinobacteria phylumnak és a Betaproteobacteria osztálynak kevesebb képviselője volt jelen a Fertő vízéhez képest (Borsodi és társai 2013). Továbbá a fülöpszállási Kelemen-szék és az újfahértói Nagy-Vadas nádasának perifitonjáról a *Flavobacterium*, a Comamonadaceae család (Kelemen-szék) és a *Fluviicola* (Nagy-Vadas) taxonok képviselőit mutatták ki Rusznyák és társai (2008). A környékbeli szikesekkel szemben édes vizű izsáki Kolon-tó különböző növényzet (rence, tündérrózsa, nád) által uralt vízterében a *Fluviicola* és a *Flavobacterium* nemzetségek kép-

viselői és a hgcI klád tagjai szintén jelen voltak, utóbbi egy nyílt vízfoltban dominált (Mentes és társai 2016). A Fertő vizéből tehát kimutathatóak voltak más magyarországi szikes vizekre jellemző taxonok (*Flavobacterium*, *Fluviicola*, hgcI klád, 'Candidatus Aquiluna', 'CL500-29 marine group'), melyeknek egy része gyakran előfordul édesvizekben (*Flavobacterium*, hgcI klád). Annak megállapításához, hogy a Fertő vízének baktériumközösségei mennyire hasonlítanak más (magyarországi) szikes vagy édes vizek bakterioplanktonjához, azonban még további vizsgálatok szükségesek.

A Kelemen-szék és Böddi-szék üledékfelszínén Borsodi és társai (2005) molekuláris klónozással a Fertő üledékéhez hasonlóan a Proteobacteria phylum dominanciáját tapasztalták, de jelentős számban fordultak elő a Bacteroidetes törzshöz tartozó klónok is. Csak a Böddi-szék üledékfelszínén detektálták a cianobaktériumok közé tartozó *Synechococcus* nemzetséget, amely a Fertő nyílt vízi pontjának üledékéből is kimutatható volt. Az újfahértói Nagy-Vadas és a tiszavasvári Fehér-szik üledékmintáira a Proteobacteria törzs képviselőin kívül a Gemmatimonadetes phylum domináns előfordulása volt jellemző (Pollák és társai 2006; Borsodi 2007), amely törzs relatív abundanciája a Fertőben 1% alatti volt. Több taxon is kimutatható volt más üledékmintákból, mint például a Szent Anna-tóból (SVA0485, GIF9, Aminicenantes), ezért valószínűleg általánosan az üledékekben lévő szerves anyagok degradációjában vehetnek részt.

ÖSSZEFOGLALÁS

A vízminták esetében a bomló növényi anyagoktól színes Kis-Herlakni belső tó és a nádas vízének baktériumközösségei mind phylum, mind nemzetség-szinten egymáshoz jobban hasonlítottak, mint a nagy lebegőanyag tartalmú nyílt víz (B0 pont) baktériumközösségéhez. Ezáltal arra következtethetünk, hogy a makrofíton borítottág befolyásolja a baktériumközösség összetételét. A víz- és üledékminták baktériumközösségei egymástól elkülönültek. E két közeg mikrobaközösségeinél az őszi és nyári mintavételek során phylum-szinten kevés eltérést tapasztaltunk, viszont a nemzetségek szintjén az egyes taxonok aránya megváltozott. A Fertőt diverz baktériumközösség jellemzi, kemoorganoheterotróf anyagcseréjű taxonokon kívül (pl. *Flavobacteria*, *Fluviicola*) változatos metabolizmusú taxonokat is kimutattunk, mint például elsődleges termelőként a fotoautotróf *Synechococcus* nemzetséget, továbbá a foheterotróf 'Candidatus Aquiluna' és a kén-oxidáló kemolitotróf *Thiovirga* taxonokat; az üledékmintákban a kén-oxidáló kemolitotróf *Thiobacillus*, a vas(III) és szulfát-redukáló SVA0485, a növényi szerves vegyületeket homoacetogén fermentációval lebontó GIF9 és az aminosavak lebontására képes Aminicenantes csoportokat. Több csoport esetében tapasztaltunk a szezonális összefüggő változásokat is, ezek közül több taxon esetében az irodalmi adatok alapján például hőmérsékletfüggést feltételezhetünk. Két csoport elterjedésére (hgcI klád, 'CL500-29 marine group') pedig lehetséges, hogy gátló hatással van a környezet magasabb oldott szervesanyag-tartalma.

KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

A kutatást az OTKA K 116275 pályázata és az Emberi Erőforrások Minisztériuma Új Nemzeti Kiválóság Programja támogatta (ÚNKP-17-3) támogatta. A szerzők köszönetüket fejezik ki Somogyi Boglárkának, Tugyi Nórának, Szabó Tímeának, Németh Balázsnak, Romsics Csabának, Mogyorósi Sándornak és Udvardy Ferencnek a mintavételekhez nyújtott segítségükért.

IRODALOMJEGYZÉK

- Baldwin S.A., Mattes A., Rezadehbashi M., Taylor J. (2016). Seasonal microbial population shifts in a bioremediation system treating metal and sulfate-rich seepage. *Minerals*, 6(2), 1-17.
- Bar-Or I., Ben-Dov E., Kushmaro A., Eckert W., Sivan O. (2015). Methane-related changes in prokaryotes along geochemical profiles in sediments of Lake Kinneret (Israel). *Biogeosciences*, 12, 2847-2860.
- Borsodi A. (2007). Magyarországi szikes vizek bakteriális biodiverzitásának megismerése, extrémofil szervezetek polifázikus taxonómiai jellemzése. *Kutatási zárójelentés*, OTKA T038021. http://real.mtak.hu/441/1/38021_ZJ1.pdf
- Borsodi A., Vladár P., Rusznyák A., Szabó G., Sipos R., Márialigeti K. (2005). Tenyésztésen alapuló és tenyésztéstől független molekuláris biológiai vizsgálatok a Kiskunsági NP szikes tavainak baktériumközösségén. *Hidrológiai Közlöny*, 85(6), 23-25.
- Borsodi A.K., Knáb M., Czeibert K., Márialigeti K., Vörös L., Somogyi B. (2013). Planktonic bacterial community composition of an extremely shallow soda pond during a phytoplankton bloom revealed by cultivation and molecular cloning. *Extremophiles*, 17(4), 575-584.
- Bradford D., Hugenholtz P., Seviour E.M., Cunningham M.A., Stratton H., Seviour R.J., Blackall L.L. (1996). 16S rRNA analysis of isolates obtained from gram-negative, filamentous bacteria micromanipulated from activated sludge. *Syst. Appl. Microbiol.*, 19(3), 334-343.
- Crosbie N.D., Pöckl M., Weisse T. (2003). Dispersal and phylogenetic diversity of nonmarine picocyanobacteria, inferred from 16S rRNA gene and cpcBA-intergenic spacer sequence analyses. *Appl. Environ. Microbiol.*, 69(9), 5716-5721.
- Dinka M., Ágoston-Szabó E., Berczik Á., Kutruć G. (2004). Influence of water level fluctuation on the spatial dynamic of the water chemistry at lake Fertő/Neusiedler See. *Limnol.-Ecol. Manag. Inland Waters*, 34(1), 48-56.
- Eimhjellen K.E. (1970). *Thiocapsa pfennigii* sp. nov. a new species of the phototrophic sulfur bacteria. *Archives of Microbiology*, 73(2), 193-194.
- Fan L., Barry K., Hu G., Meng S., Song C., Qiu L., Zheng Y., Wu W., Qu J., Chen J., Xu P. (2017). Characterizing bacterial communities in tilapia pond surface sediment and their responses to pond differences and temporal variations. *World J. Microbiol. Biotechnol.*, 33(1), 1.
- Farag I.F., Davis J.P., Youssef N.H., Elshahed, M.S. (2014). Global patterns of abundance, diversity and community structure of the Aminicenantes (candidate phylum OP8). *PloS one*, 9(3), e92139.
- Felföldi T., Somogyi B., Márialigeti K., Vörös L. (2011a): A Fertő-tó mikrobaközösségeinek jellemzése tenyésztéstől független, csoportspecifikus molekuláris biológiai módszerekkel. *Hidrológiai Közlöny*, 91(6), 42-44.
- Felföldi T., Somogyi B., Márialigeti K., Vörös L. (2011b). Notes on the biogeography of non-marine planktonic picocyanobacteria: re-evaluating novelty. *J. Plankton Res.*, 33(10), 1622-1626.
- Felföldi T., Szabó A., Nagy H., Korponai J., Braun M., Márialigeti K., Máthé I. (2016): Microbial ecology and paleolimnology: Bacterial community profiles of sediment layers in a crater lake. In: *16th International Symposium on Microbial Ecology (ISME-16)*. Montreal, Kanada, 2016.08.21-2016.08.26.
- Giovannoni S.J., Rappe M.S., Vergin K.L., Adair N.L. (1996). 16S rRNA genes reveal stratified open ocean bacterioplankton populations related to the Green Non-Sulfur bacteria. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 93(15), 7979-7984.
- Godon J.J., Zumstein E., Dabert P., Habouzit F., Molletta R. (1997). Microbial 16S rDNA diversity in an anaerobic digester. *Water Sci. Technol.*, 36(6-7), 49-55.
- Hug L.A., Castelle C.J., Wrighton K.C., Thomas B.C., Sharon I., Frischkorn K.R., Williams K.H., Tringe S.G., Banfield J.F. (2013). Community genomic analyses constrain the distribution of metabolic traits across the Chloroflexi phylum and indicate roles in sediment carbon cycling. *Microbiome*, 1(22), 1-17.
- Jorgensen, B.B., Revsbech, N.P. (1983). Colorless sulfur bacteria, *Beggiatoa* spp. and *Thiovulum* spp., in O₂ and H₂S microgradients. *Appl. Environ. Microbiol.*, 45(4), 1261-1270.
- Kang I., Lee K., Yang S.J., Choi A., Kang D., Lee Y.K., Cho, J.C. (2012). Genome sequence of "Candidatus Aquiluna" sp. strain IMCC13023, a marine member of the Actinobacteria isolated from an arctic fjord. *J. Bacteriol.*, 194(13), 3550-3551.
- Korponai K., Szabó A., Somogyi B., Vörös L., Vajna B., Boros E., Felföldi T. (2016). A planktonikus bakteriális közösségek szezonális alakulása különböző karakterű szikes tavakban. *Hidrológiai Közlöny*, 96(különszám), 44-52.
- Krett G., Szabó A., Felföldi T., Márialigeti K., Borsodi A.K. (2017). The effect of reconstruction works on planktonic bacterial diversity of a unique thermal lake revealed by cultivation, molecular cloning and next generation sequencing. *Arch. Microbiol.*, 199(8), 1077-1089.
- Li J.Y., Zhang Y.F., Yang Z., Wang M. (2017). Bacterial diversity in Shahu lake, northwest China is significantly affected by nutrient composition rather than location. *Annals Microbiol.*, 67(7), 469-478.
- Lindh M.V., Sjöstedt J., Andersson A.F., Baltar F., Hugerth L.W., Lundin D., Muthusamy S., Legrand C., Pinhassi J. (2015a). Disentangling seasonal bacterio-

plankton population dynamics by high-frequency sampling. *Environ. Microbiol.*, 17(7), 2459-2476.

Lindh M.V., Lefébure R., Degerman R., Lundin D., Andersson A., Pinhassi J. (2015b). Consequences of increased terrestrial dissolved organic matter and temperature on bacterioplankton community composition during a Baltic Sea mesocosm experiment. *Ambio*, 44(3), 402-412.

Liu Y., Yao T., Jiao N., Zhu L., Hu A., Liu X., Gao J., Chen Z.Q. (2013). Salinity impact on bacterial community composition in five high-altitude lakes from the Tibetan Plateau, Western China. *Geomicrobiol. J.*, 30(5), 462-469.

McBride M.J. (2014). The family Flavobacteriaceae. In *The Prokaryotes*. Springer Berlin Heidelberg. 4th edition, 643-676.

Mentes A., Szabó A., Jurecska L., Tugyi N., Somogyi B., Csitári B., Vörös L., Boros E., Felföldi T. (2016). Az izzási Kolon-tó mikrobiológiai felmérése. *Hidrológiai Közlöny*, 96(különszám), 59-61.

Nagy B.J., Szabó A., Somogyi B., Vörös L., Márialigeti K., Máthé I., Felföldi T. (2015). Heliotermikus sós tavak planktonikus mikrobaközösségei. *Hidrológiai Közlöny*, 95, 59-63.

Newton R.J., Jones S.E., Eiler A., McMahon K.D., Bertilsson S. (2011) A guide to the natural history of freshwater lake bacteria. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.* 75(1), 14-49.

Orlygsson J., Kristjansson J.K. (2014). The family Hydrogenophilaceae. In *The Prokaryotes* (pp. 859-868). Springer Berlin Heidelberg.

O'Sullivan L.A., Rinna J., Humphreys G., Weightman A.J., Fry J.C. (2005). *Fluviicola taffensis* gen. nov., sp. nov., a novel freshwater bacterium of the family Cryomorphaceae in the phylum 'Bacteroidetes'. *IJSEM*, 55(5), 2189-2194.

Overmann J. (2006). The family Chlorobiaceae. *The Prokaryotes: Volume 7: Proteobacteria: Delta, Epsilon Subclass*, 359-378.

Panda A.K., Bisht S.S., Kaushal B.R., De Mandal S., Kumar N.S., Basistha B.C. (2017). Bacterial diversity analysis of Yumthang hot spring, North Sikkim, India by Illumina sequencing. *Big Data Analytics*, 2(7), 1-7.

Pollák B., Rusznyák A., Palatinszky M., Márialigeti K., Borsodi A. (2006). Tízantúli szikes tavak baktériumközösségeinek összehasonlító vizsgálata. *Hidrológiai Közlöny*, 86(6), 88-90.

Rusznyák A., Vladár P., Szabó G., Márialigeti K., Borsodi A.K. (2008). Phylogenetic and metabolic bacterial diversity of *Phragmites australis* periphyton communities in two Hungarian soda ponds. *Extremophiles*, 12(6), 763-773.

Somogyi B., Herzig A., Németh B., Vörös L. (2011). Szervetlen lebegőanyagok hatása sekély tavak fitoplankton struktúrájára (különös tekintettel a pikoplanktonra). *Hidrológiai Közlöny*, 91(6), 72-74.

Stepanauskas R., Farjalla V.F., Tranvik L.J., Svensson J.M., Esteves F.A., Granéli W. (2000). Bioavailability

and sources of DOC and DON in macrophyte stands of a tropical coastal lake. *Hydrobiol.*, 436(1-3), 241-248.

Stepanauskas R., Moran M.A., Bergamaschi, B.A., Hollibaugh J.T. (2003). Covariance of bacterioplankton composition and environmental variables in a temperate delta system. *Aquatic Microb. Ecol.*, 31(1), 85-98.

Szabó A., Korponai K., Kerepesi Cs., Somogyi B., Vörös L., Bartha D., Márialigeti K., Felföldi T. (2017). Soda pans of the Pannonian steppe harbor unique bacterial communities adapted to multiple extreme conditions. *Extremophiles*, 21(3), 639-649

Szuróczi S., Korponai K., Sári E., Tugyi N., Felföldi T., Somogyi B., Márialigeti K., Tóth E. (2017). Planktonikus baktériumközösségek vizsgálata a Fertő vizében (nyílt víz, belső tó, nádas), *Hidrológiai Közlöny*, 97(különszám), 40-47.

Tanner M.A., Everett C.L., Coleman W.J., Yang M.M., Youvan D.C. (2000). Complex microbial communities inhabiting sulfide-rich black mud from marine coastal environments. *Biotechnology et alia*, 8, 1-16.

Teske A., Durbin A., Zievel K., Cox C., Arnosti C. (2011). Microbial community composition and function in permanently cold seawater and sediments from an arctic fjord of Svalbard. *Appl. Environ. Microbiol.*, 77(6), 2008-2018.

Urbach E., Vergin K.L., Young L., Morse A., Larson G.L., Giovannoni S. J. (2001). Unusual bacterioplankton community structure in ultra-oligotrophic Crater Lake. *Limnol. Oceanography*, 46(3), 557-572.

Vaquar-Sunyer R., Reader H.E., Lindh M.V., Conley D.J., Kritzberg E.S. (2016). Effects of wastewater treatment plant effluent inputs on planktonic metabolic rates and microbial community composition in the Baltic Sea. *Biogeosciences*, 13(16), 4751-4765.

Vuillemin A., Ariztegui D., Leavitt P.R., Bunting L., PASADO Science Team. (2016). Recording of climate and diagenesis through sedimentary DNA and fossil pigments at Laguna Potrok Aike, Argentina. *Biogeosciences*, 13(8), 2475-2492.

Willems A. (2014). The family Comamonadaceae. In: *The Prokaryotes* (pp. 777-851). Springer Berlin Heidelberg.

Willems A., De Ley J., Gillis M., Kersters K. (1991). Comamonadaceae, a new family encompassing the *Acidovorans* rRNA complex, including *Variovorax paradoxus* gen. nov., comb. nov. for *Alcaligenes paradoxus* (Davis 1969). *Int. J. Syst. Bacteriol.*, 41(3), 445-450.

Wise M.G., McArthur J.V., Shimkets L.J. (1997). Bacterial diversity of a Carolina bay as determined by 16S rRNA gene analysis: confirmation of novel taxa. *Appl. Environ. Microbiol.*, 63(4), 1505-1514.

Yamada T., Sekiguchi Y., Hanada S., Imachi H., Ohashi A., Harada H., Kamagata Y. (2006). *Anaerolinea thermolimos* sp. nov., *Levilinea saccharolytica* gen. nov., sp. nov. and *Leptolinea tardivitalis* gen. nov., sp. nov., novel filamentous anaerobes, and description of the new classes Anaerolineae classis nov. and Caldilineae classis nov. in the bacterial phylum Chloroflexi. *IJSEM*, 56(6), 1331-1340.

Yang H.X., Wang X., Liu X.W., Zhang J., Yang G.Q., Lau K.W., Li S.P., Jiang, J. D. (2014). *Fluviicola hefeinensis* sp. nov., isolated from the wastewater of a chemical factory. *IJSEM*, 64(3), 700-704.

Youssef N.H., Elshahed M.S. (2009). Diversity rankings among bacterial lineages in soil. *ISME J.*, 3(3), 305–313.

Zhao D., Wang S., Huang R., Zeng J., Huang F., Yu Z. (2017). Diversity and composition of bacterial com-

munity in the rhizosphere sediments of submerged macrophytes revealed by 454 pyrosequencing. *Annals Microbiol.*, 67(4), 313-319.

Zwart G., Crump B.C., Kamst-van Agterveld M.P., Hagen F., Han S.K. (2002). Typical freshwater bacteria: an analysis of available 16S rRNA gene sequences from plankton of lakes and rivers. *Aquat. Microb. Ecol.*, 28, 141-155.

A SZERZŐK



SZURÓCZKI SÁRA biológus, MSc diplomáját az Eötvös Loránd Tudományegyetemen szerezte 2015-ben. Diplomamunkáját az ELTE Mikrobiológiai tanszékén írta, melynek témája: egy budapesti termálfürdő baktériumközösségeinek feltérképezése volt tenyésztési módszerekkel. Jelenleg az ELTE Környezettudományi Doktori Iskola hallgatója. Kutatási témája a Fertő mikrobiológiai vizsgálata.

SZABÓ ATTILA biológus az Eötvös Loránd Tudományegyetem Mikrobiológiai Tanszékén a Genomikai Laboratórium munkatársa. Kutatási területe a különféle környezetekben előforduló mikrobaközösségek feltárása, kapcsolatrendszeik vizsgálata. Elsősorban genomikai, metagenomikai módszerekkel és az ezekkel kapott adatok bioinformatikai és statisztikai elemzésével foglalkozik.

KORPONAI KRISTÓF biológus, az Eötvös Loránd Tudományegyetemen folytat doktori tanulmányokat. Érdeklődési területe (elsősorban szikes) állóvizeket ölel fel, környezeti mikrobiológiai vonatkozásban.

FELFÖLDI TAMÁS biológus, PhD fokozatát az Eötvös Loránd Tudományegyetem Mikrobiológiai Tanszékén szerezte meg, az ELTE adjunktusa, a Genomikai Laboratórium vezetője. Jelenlegi kutatási területe természetes vizes élőhelyek mikrobiális ökológiáját és gerinctelenek molekuláris taxonómiáját öleli fel, amiket új fajok leírása egészít ki.

MÁRIALIGETI KÁROLY biológus, mikrobiológus, habilitált egyetemi tanár, az MTA doktora. Mester és doktori képzésben az általános és környezeti mikrobiológia legtágabb területén tart előadásokat. Közleményei a környezeti mikrobiológia, mikrobiális ökológia, mikrobiális taxonómia és filogenetika, környezeti biotechnológia témakörében jelentek meg. Száznál több angol nyelvű folyóiratcikkére 1700 feletti független hivatkozást kapott.

TÓTH ERIKA biológus, mikrobiológus az ELTE Mikrobiológiai Tanszékének habilitált egyetemi docense, tanszékvezető. Oktat az alap, mester és doktori képzésben. Kutatási területei a mikrobiális ökológia területén első sorban vizes élőhelyek (természetes és mesterséges vizek) bakteriális közösségeinek vizsgálatát ölelik fel. A kemotaxonómiai labor vezetője, jelentős publikációi vannak a prokarióta taxonómia témakörében is. Tagja a ICSP (International Committee on Systematics of Prokaryotes) delegátusának és a Magyar Mikrobiológiai társaság Ellenőrző Bizottságának.

Halállományok fajgazdagsága és a védett halfajok elterjedés-mintázata magyarországi vízfo-lyásokban

Takács Péter*, Czeglédi István*, Ferincz Árpád**, Sály Péter****, Specziár András*, Vitál Zoltán*, Weiperth András****, Erős Tibor*

* MTA ÖK Balatoni Limnológiai Intézet, Tihany, Klebelsberg Kuno u. 3., 8237 (E-mail: takacs.peter@okologia.mta.hu)

** SZIE Halgazdálkodási Tanszék, 3000 Gödöllő, Páter Károly utca 1.

*** PTE Hidrobiológiai Tanszék, 7624 Pécs, Ifjúság útja 6.

**** MTA ÖK Duna-kutató Intézet, 1113 Budapest, Karolina út 29.

Kivonat

Jelen munkánkban az utóbbi években magyarországi vízfolyásokon végzett országos léptékű halállomány felméréseink eredményeit elemelve bemutatjuk az egyes víztér típusok halállományainak fajgazdagságát, a védett halfajok regionális elterjedés mintázatait, illetve állományaik vízfolyás-típusonkénti összetételét. A felmérések során 66 halfaj 200398 egyede került elő. A leggyakoribb fajok a bodorka, a szivárványos ökle és a kűsz voltak. A szakaszonkénti össz-fajszaám 1 és 25 között szórt (átl. \pm S.D.: $8,9\pm5,0$), de a fajgazdagság víztér típusonként és regionálisan is nagy különbségeket mutatott. A víztér típusok közül a Duna mellett a dombvidéki és síkvidéki folyók, regionálisan az ország K-ÉK területe mondható a legfajgazdagabbnak. A felmérések során 21 védett faj került elő, melyek az össz-fogs 29,2%-át adták. A leggyakoribb védett fajok a szivárványos ökle, a vágócsík, a „fenékjáró küllő fajkomplex”, a kövi- és réticsík voltak. A védett fajok a vizsgált vízfolyástípusok közül a dombvidéki folyóban mutathatók ki legnagyobb fajszaámmal. A védett fajok legnagyobb része speciális élőhelyekhez köthető, így elterjedésük és dominancia viszonyaik is foltos mintázatot mutatnak. Bizonyos védett fajok (pl.: fűrges cselle, sujtásos kűsz) egyes állományai erős izolációjuk miatt különös figyelmet érdemelnek.

Kulcsszavak

Halállomány, eloszlás, dominancia viszonyok, relatív abundancia, habitat típusok.

The species richness of fish stocks and the distribution of protected fish species in the Hungarian river system.

Abstract

Our aims were to present a recent species list and distribution of the Hungarian running waters' fish fauna, and to reveal the coexistence and relative abundance patterns of protected fish species. During our field samplings, executed on 767 sites, 200938 individuals classified into 66 species and hybrids occurred. The most abundant species were roach, bitterling and bleak. The species richness per site varied between 1 and 25, with the average $8,9(\pm5,0SD)$ but this value showed considerable regional and between-waterbody types variation. The highest species richness was detected in the River Danube and in the hilly and lowland rivers. On regional level higher species number was detected in running waters situated mostly to the East, North-East Hungary. Altogether 21 protected fish species occurred during our survey, and the 29,2% of the total catch were classified into this group. The five most abundant species were bitterling, spined loach, "common" gudgeon, stoneloach and weatherfish. The protected species occurred in highest number in the hilly rivers. Most of these species can be characterised by specialized environmental needs, therefore their countrywide distribution showed patchy pattern. Due to their strong isolation, certain stocks of some protected species (e.g. Eurasian minnow, spirin) deserve particular attention.

Keywords

Fish assemblage, distribution, dominance patterns, relative abundance, habitat types.

BEVEZETÉS

Az elmúlt évek során az MTA ÖK BLI kutatóinak koordinálásával számos egész országra kiterjedő halállomány felmérést végeztünk. A vizsgálatok során gyűjtött előfordulási és egyedszaám adatok felhasználásával egy adatbázist hoztunk létre, amely alkalmas arra, hogy országos léptékben mutassuk be a halállományok fajgazdagságának változásait, illetve az egyes halfajok elterjedését és dominancia viszonyait. Jelen munkánkban az adatbázis felhasználásával bemutatjuk a magyarországi folyóvizek fajgazdagságában megfigyelhető regionális különbségeket, illetve a hat leggyakoribb védett halfaj elterjedés-mintázatát.

ANYAG ÉS MÓDSZER

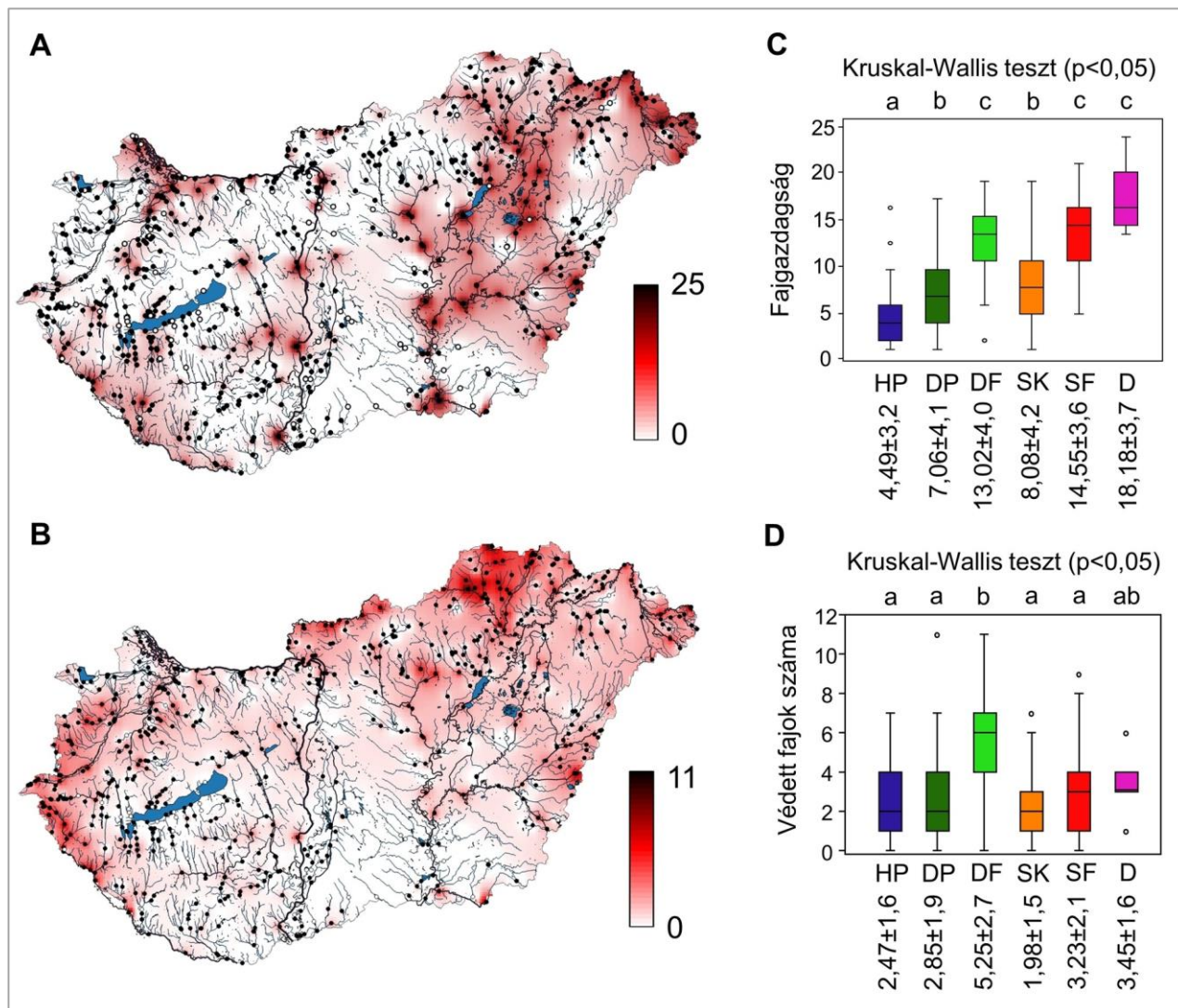
Az országos léptékű recens elterjedés-mintázatok és abundancia viszonyok bemutatásához az utóbbi években standardizált elektromos halászati módszerrel, összesen 381 vízfolyás 767 mintaszakaszán elvégzett felméréseink

adatsorait használtuk fel. A vizsgálatok során Erős (2007) munkája alapján hat vízfolyástípust különböztettünk meg (hegyvidéki patak (HP), dombvidéki patak (DP), dombvidéki folyó (DF), síkvidéki kisvízfolyás (SK), síkvidéki folyó (SF), és Duna (D)). A kisebb vízmélységű habitatokban kis teljesítményű háti elektromos halászgéppel gázolva, a nagyobb, nem gázolható vizeken nagy teljesítményű aggregátoros géppel csónakból halásztunk. További információkért lásd: Sály és társai (2009), Takács és társai (2017). A vízfolyás-típusonkénti össz- és védett fajszaám adatokat Kruskal-Wallis teszttel vetettük össze. A felmérések során előkerült védett fajok relatív abundancia értékein főkomponens analízist végeztünk. A fajszaámok, elterjedés mintázatok, illetve a relatív abundancia viszonyok vizualizációját QGIS szoftver (*QGIS Development Team 2016*) felhasználásával Inverse Distance Weighting (IDW) interpolációval (*Mitas és Mitsova 1999*) végeztük el.

EREDMÉNYEK

A felmérések során 200.938 egyedot fogtunk, melyeket előkerülő 66 fajba és/vagy hibridbe soroltunk. A felmért mintahelyeken az előkerülő fajok száma 1 és 25 között változott (átl. \pm S.D.: $8,9\pm 5,0$). A legnagyobb egyedszámmal a kűsz (*Alburnus alburnus* Linnaeus, 1758) ($n=46.723$), a

szivárványos ökle (*Rhodeus sericeus* Pallas, 1776) ($n=24.625$) és a bodorka (*Rutilus rutilus* Linnaeus, 1758) ($n=23890$) szerepelt a fogásokban. (A teljes fogási listáért lásd: Takács és társai 2017, 2. táblázat) A vízfolyások fajgazdagságát regionálisan és víztér típusonként az 1A-B. ábrán mutatjuk be.



1. ábra. A felmért mintahelyek össz- (A) és védett fajszámainak (B) Magyarország területére IDW interpolált megoszlása (Megjegyzés: A boxplotokon az egyes vízfolyástípusokban előforduló halfajok számát, illetve a védett fajok számát mutatjuk be. A piros színezés szín-mélysége egyenesen arányos az regionális interpolált össz-, illetve védett fajszámmal. A boxplotokon az egyes habitattípusokban össz-fajszámait (C) illetve a védett fajok fajszámát (D), alatta a fajszámok átlagos \pm SD értékeit tüntettük fel. A boxplotok alatt a Kruskal-Wallis tesztek eredményeit tüntettük fel, ahol a szignifikáns ($p<0,05$) eltéréseket eltérő betűk jelzik. A magyarországi folyóvizeken végzett felmérések össz-fajszám és védett fajszám értékeit a C és D ábrarészen tüntettük fel. A habitattípusok kódjainak magyarázatát lásd a szövegben.)

Figure 1. IDW interpolated fish species richness (A) and the number of protected fish species (B) in the area of Hungary, and in the certain habitat types (C-D)

(Notes: HP: mountain streams, DP: hilly streams, DF: hilly rivers, SK: lowland streams, SF: lowland rivers, D: River Danube) In case of subfigures C and D boxplots were used to present the data distribution, Boxplots marked with the same letters do not differ significantly based on nonparametric Kruskal-Wallis pairwise comparisons ($p<0.05$). Boxplots marked with the same letters do not differ significantly based on nonparametric Kruskal-Wallis pairwise comparisons ($p<0.05$). Mean \pm SD number of species, and protected species are indicated below the boxplots for each habitat types.)

A fogott fajok közül 21 áll törvényi oltalom alatt, 7 fokozottan védett. A védett fajok 58.699 egyeddel az összfogás 29,2%-át adták, mintahelyenkénti számuk 0 és 11 között változott. A leggyakoribb védett fajok a szivárványos ökle (rhoser), a vágócsík (cobelo), a „fenékjáró küllő fajkomplex” (gobgob), a kövi- (ortbar) és réti csík (misfos) voltak (1. táblázat).

A teljes fajkészlet és a védett fajok regionális és víztér típusonkénti fajgazdagságát az 1. ábrán mutatjuk be. Az egyes védett fajok habitat típusonkénti előfordulási mintázatát, illetve dominancia viszonyait a 2. ábrán tüntettük fel. A hat leggyakoribb védett faj elterjedés mintázatát, illetve interpolált relatív abundancia viszonyait a 3. ábrán mutatjuk be.

1. táblázat. A faunisztikai felméréseink során előkerült 21 védett halfaj listája

(Megjegyzés: Rang: előkerülési gyakorisága teljes fajlistában (lásd: Takács és társai 2017, 2. táblázat, 66 faj), fajkód: a védett fajok nevének rövidítése; FO%: előkerülési gyakoriság; n: fogott egyedszám; RA%: relatív abundancia a teljes fogásban. A fokozottan védett fajokat csillaggal jelöltük.)

Table 1. List of the 21 protected species recorded during our countrywide surveys

(Notes: Rang: prevalence frequency of the certain species in the whole species list (for the whole list containing all the 66 species, see: Takács et al. 2017, Table 2) Fajnév: scientific name of the species, fajkód: abbreviation of the species name. FO% frequency of occurrence, n. number of individuals detected, RA%: relative abundance of a certain species in the whole catch. The strictly protected species indicated by asterisk.)

Rang	Fajnév	fajkód	FO%	n	RA%
2.	<i>Rhodeus sericeus</i> (Pallas, 1776)	rhoser	57.1	24625	12.26%
6.	<i>Cobitis elongatoides</i> (Băcescu and Maier, 1969)	cobelo	39.6	4616	2.30%
9.	<i>Gobio gobio</i> (Linnaeus, 1758) species complex	gobgob	34.4	8530	4.25%
13.	<i>Barbatula barbatula</i> (Linnaeus, 1758)	ortbar	27.2	6424	3.20%
17.	<i>Misgurnus fossilis</i> (Linnaeus, 1758)	misfos	16.8	894	0.45%
18.	<i>Romanogobio vladkovi</i> (Fang, 1943)	romvla	16.7	1273	0.63%
20.	<i>Alburnoides bipunctatus</i> (Bloch, 1782)	albbip	15.1	5147	2.56%
26.	<i>Leuciscus leuciscus</i> (Linnaeus, 1758)	leuleu	12.3	853	0.43%
31.	<i>Phoxinus phoxinus</i> (Linnaeus, 1758)	phopho	6.4	3093	1.54%
32.	<i>Barbus carpathicus</i> (Kotlík, Tsigenopoulos, Ráb and Berrebi, 2002)*	barcar	6.4	1028	0.51%
35.	<i>Leucaspis deloneatus</i> (Heckel, 1843)	leudel	5.1	330	0.16%
38.	<i>Umbra krameri</i> Walbaum, 1792*	umbkra	4	884	0.44%
40.	<i>Sabanejewia aurata</i> (Filippi, 1865)	sabaur	3.7	131	0.07%
41.	<i>Zingel zingel</i> (Linnaeus, 1758)*	zinzin	3.3	161	0.08%
45.	<i>Zingel streber</i> (Siebold, 1863)*	zinstr	2.2	119	0.06%
46.	<i>Gymnocephalus schraetser</i> (Linnaeus, 1758)	gymsch	2.1	248	0.12%
47.	<i>Gymnocephalus baloni</i> Holčík and Hensel, 1974	gymbal	2.1	64	0.03%
49.	<i>Rutilus pigus</i> (Heckel, 1852)	rutpig	1.9	109	0.05%
50.	<i>Romanogobio kesslerii</i> (Dybowski, 1862)*	romkes	1.8	148	0.07%
62.	<i>Eudontomyzon danfordi</i> (Regan, 1911)*	euddan	0.3	2	0.00%
63.	<i>Eudontomyzon mariae</i> (Berg, 1931)*	eudmar	0.1	20	0.01%

A felmérések során összesen 66 halfaj illetve hibrid előfordulását igazoltuk, ugyanakkor a magyar természetes vizekben jelenleg előforduló fajok száma ennél valószínűleg jóval magasabb. Ez több tényezővel magyarázható. Egyrészt az alkalmazott módszer szelektivitásának tudható be, hogy bizonyos speciális élőhely igényű, ritka, bentikus fajok, (kecsege, felpillantó küllő, botos kölönte) nem szerepelnek a fogásainkban. Másrészt csak folyóvizekről szolgáltatunk adatokat, illetve bizonyos speciális faunával jellemezhető vízfolyás szakaszok nem szerepeltek a felmért mintahelyek között (lásd: Takács és társai 2015, Weiperth és társai 2016).

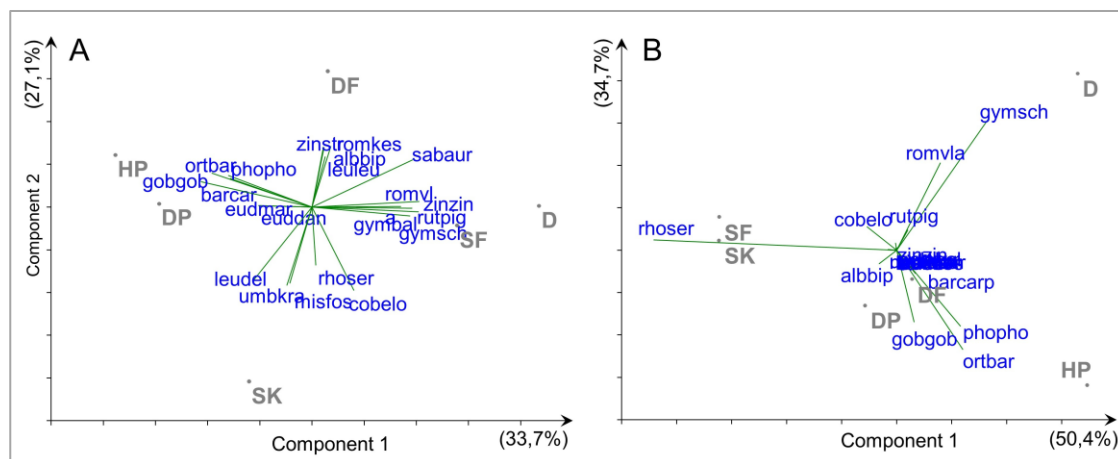
Az ország keleti, észak-keleti területei, a tiszai vízgyűjtőn található nagyobb vízfolyások, általában fajgazdagabbak, mint a dunántúli területek folyóvizei. Az ország nyugati felén a Duna mellett a Szigetköz területe, a Rába alsó szakasza, illetve a Dráva vízrendszere mutat nagyobb fajgazdagságot (1.A. ábra). Ugyanakkor a hegyvidéki patakoktól a Dunáig az előkerült átlagos fajszám több mint négyszeresére nő (1.C. ábra). A védett fajok elterjedés mintázata és dominancia viszonyai vízfolyástípusonként és regionálisan is jelentős eltéréseket mutatnak. A legnagyobb arányban az ország északkeleti és nyugati-délnyugati részében vannak jelen. Ugyanakkor a dombvidéki vizekben fajszámuk átlagosan magasabb, mint a többi víztér típusban (1.B. és D. ábrák).

A relatív abundancia adatok főkomponens analízise alapján (2. ábra) a hegyvidéki és dombvidéki patakokban „fenékjáró küllő fajkomplex” (gobgob), kövicsík (ortbar), fűrgeselle (phopho), a kárpáti márna (barcar) és a dunai és tiszai ingola (eudmar, euddan) az abundáns fajok. A dombvidéki folyókban a német bucó (zinstr), homoki küllő (romkes), süjtásos kűsz (albbip), nyúl domolykó (leuleu) a domináns védett fajok. A síkvidéki kisvizekben a kurta baing (leudel), lápi póc (umbkra), a réti csík (misfos), szivárványos ökle (rhoser) és vágócsík (cobelo) előfordulása jellemző.

A síkvidéki folyókban, illetve a Dunában a halványfoltú küllő (romvla), a magyar bucó (zinzin), a selymes és széles durbincs (gymsch, gymbal) és leánykoncér (rutpig) alkotta védett faj állományok jellemzőek (2.A. ábra). A síkvidéki folyókban és kisvizekben a domináns védett fajnak egyértelműen a szivárványos ökle tekinthető, a dombvidéki- és hegyvidéki patakok védett fajai közül a „fenékjáró küllő fajkomplex”, kövicsík, fűrgeselle vannak jelen nagyobb arányban. A dunai védett fajok közül a selymes durbincs, valamint a halványfoltú küllő a domináns védett faj (2.B. ábra).

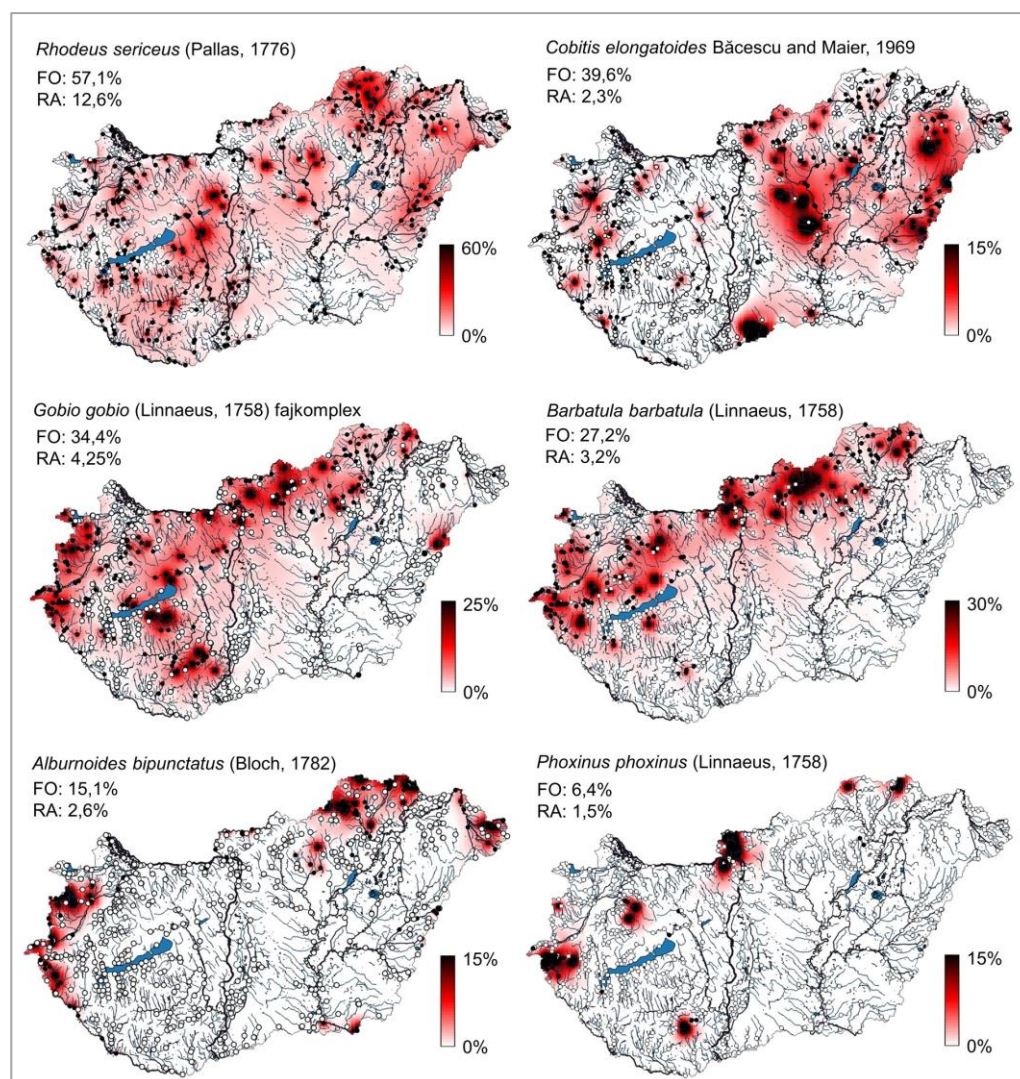
A hat leggyakoribb védett faj közül (3. ábra) csak a szivárványos ökle, illetve a vágócsík mondható országosan elterjedtnek. Ez valószínűleg a halastavak hatásával, illetve bizonyos élőhely degradációs hatásokkal is magyarázható, ugyanis a szivárványos ökle szaporodását tekintve a tavakban nagyobb számban előfordul *Unionidae* kagylófajokhoz kötődik. A vágó csík tavak által befolyásolt vízjárás és mederszervek miatt megjelenő feliszapolódott habitatokban jelenhet meg nagyobb abundanciával, akár hegyvidéki vízfolyásszakaszon is. A másik négy bemutatott faj főleg természetközeli állapotú dombvidéki élőhelyekhez kötődik.

A „fenékjáró küllő fajkomplex” országosan elterjedt a dombvidéki kisvizekben, a kövi csík inkább az Északi-középhegység vizeiben, illetve az Északi-Dunántúl régióiban fordul elő jelentősebb arányban. A süjtásos kűsz 5-6, a fűrgeselle 8-9 egymástól távoli területről tudtuk országos szinten kimutatni. Ezek közül több állomány, igen erősen izolált, korlátozott kiterjedésű habitatokban van jelen. A fűrgeselle a Hejő vízrendszeréhez tartozó Kulcsárvölgyi-patakban, és a Kis-Balatonba torkolló Kiskomáromi-csatornában meglévő erősen elszigetelt állományai, illetve a süjtásos kűsz Kácsi-patakban még meglévő populációja természetvédelmi szempontból fokozott figyelmet érdemelnek.



2. ábra. A felmérések során kimutatott védett fajok relatív abundancia adatainak PCA plotjai
(Megjegyzések: A: korrelációs mátrix, B: kovariancia mátrix elemzésével kapott eredmények. Az adott tengely által magyarázott variancia százalékot zárójelben tüntettük fel. Szürke színnel az egyes élőhely-típusok rövidítéseit, kékkel az egyes védett fajokat jelöltük. A vízfolyástípusok kódjainak magyarázatát lásd a szövegben.)

Figure 2. The PCA plots showing the relative abundances of the indicated protected fish species
(Megjegyzések: A: correlation matrix is used, B: covariate matrix was used for the analyses. Numbers in parentheses show the explained variance on each axis. Abbreviations of habitat types and the species names are indicated by grey and blue colours respectively)



3. ábra. A felméréseink során előkerült hat leggyakoribb védett faj IDW interpolált relatív abundancia értékei
(Megjegyzések: A térképeken a fekete pontok az adott faj lelőhelyeit mutatják. A piros színezés erőssége egyenesen arányos az adott faj interpolált területi relatív abundanciájával. FO: előkerülési gyakoriság az összes mintaszakasz arányában, RA: relatív abundancia az összefogásban)

Figure 3. IDW interpolated relative abundances of the six most frequent protected fish species in Hungarian waters
(Notes: Black dots represent sites where the particular species was found and white dots where it was not. Frequency of occurrence (FO) and Relative abundance (RA) values are shown for each species.)

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Felméréseinket az OTKA CNK80140, OTKA K104279, OTKA PD115801, KEHOP2015 és a GINOP 2.3.2-15-2016-00004 pályázatok keretében végeztük. Takács Péter és Ferincz Árpád munkáját az MTA Bolyai pályázata támogatta.

IRODALOMJEGYZÉK

Erős T. (2007). Partitioning the diversity of riverine fish: the roles of habitat types and non-native species. *Freshw. Biol.*, 52, 1400-1415.

Mitas L., Mitsova, H. (1999). Spatial interpolation. *Geographical information systems: principles, techniques, management and applications*, 1, 481-492.

QGIS Development Team (2016). QGIS Geographic Information System. *Open Source Geospatial Foundation Project*.

Sály P., Erős T., Takács P., Specziár A., Kiss I., Bíró P. (2009). Assemblage level monitoring of stream fishes: the relative efficiency of single-pass vs. double-pass electrofishing. *Fish. Res.* 99, 226-233.

Takács, P., Maász, G., Vitál, Z., Harka, Á. (2015). Akvárium halak a Hévíz-lefolyó termálvizében. *Pisces Hungarici*, 9, 59-64.

Takács, P., Czeplédi, I., Ferincz, Á., Sály, P., Specziár, A., Vitál, Z., Weiperth, A., Erős, T. (2017). Idegenhonos halfajok Magyarországon és a Balaton vízgyűjtőjén; történeti áttekintés és recens elterjedés mintázatok. *Ecology of Lake Balaton /A Balaton Ökológiája*, 4, 1-23.

Weiperth, A., Danyik, T., Dukay, I., Gál, B. (2016). Új adatok az eleveszülőfogasponty-félék magyarországi elterjedéséhez. *Pisces Hungarici*, 10, 71-76.

A SZERZŐK



TAKÁCS PÉTER Ph.D. Az MTA Ökológiai Kutatóközpont, Balatoni Limnológiai Intézetének tudományos főmunkatársa. A Debreceni Egyetemen 2001-ben biológus-ökológus, 2003-ban halászati szakmérnöki oklevelet szerzett. 2007-ben a Debreceni Egyetem Környezettudományi Doktori iskolájában védte meg Ph.D.-jét. Kutatási területe: kisvízfolyások komplex hidrobiológiai kutatása, őshonos és inváziós halfajok genetikai és morfológiai vizsgálata.

CZEGLÉDI ISTVÁN Ph.D. Az MTA Ökológiai Kutatóközpont, Balatoni Limnológiai Intézetének tudományos munkatársa. Egyetemi tanulmányait Debrecenben végezte. A Debreceni Egyetemen 2012-ben szerzett Hidrobiológus MSc diplomát. 2016-ban védte meg Ph.D.-jét a Debreceni Egyetem Környezettudományi Doktori iskolájában. Kutatási területe: halegyüttesek szerveződése, idegenhonos halfajok ökológiája.

FERINCZ ÁRPÁD Ph.D. A SZIE Halgazdálkodási Tanszékének csoportvezető tudományos munkatársa. Biológus diplomáját 2010-ben az ELTE-n szerezte, majd 2014-ben a Pannon Egyetem Kémiai és Környezettudományi Doktori Iskolájában védte meg Ph.D. fokozatát. Kutatási terület: halgazdálkodási létesítmények ökológiai hatásai, idegenhonos és inváziós halfajok elterjedés-mintázata, mesterséges ivóhelyek fejlesztése, EDC vegyületek halállományra gyakorolt hatásai.

SÁLY PÉTER Ph.D. A SZIE Környezettudományi Doktori Iskolájában szerzett doktori fokozatot Erős Tibor és Kiss István témavezetésével. Az egyetem Állattani Tanszékén volt egyetemi oktató 2013-ig, ahonnan az MTA Ökológiai Kutatóközpont Balatoni Limnológiai Intézetéhez került kutatóként. Elődleges kutatási érdeklődése folyóvízi halak közösségökológiájára és természetvédelmére irányul.

SPECZIÁR ANDRÁS Ph.D. Az MTA Ökológiai Kutatóközpont, Balatoni Limnológiai Intézetének tudományos főmunkatársa. Egyetemi tanulmányait ELTE biológus szakán végezte. 1994 óta dolgozik Tihanyban. Kutatási területe: halbiológia, hidrobiológia.

VITÁL ZOLTÁN Ph.D., okleveles hidrobiológus. Tudományos munkatárs, MTA Ökológiai Kutatóközpont, Balatoni Limnológiai Intézet. Kutatási területe a Balatonban lévő idegenhonos halfajok (busa fajok, gébfélék) ökológiájának, populációdinamikájának vizsgálata, különféle halfajok morfológiai vizsgálata, valamint hidroakusztikai felmérések.

WEIPERTH ANDRÁS Ph.D. Az MTA Ökológiai Kutatóközpont, Duna-kutató Intézetének tudományos segédmunkatársa. Az Eötvös Loránd Tudomány Egyetemen 2008-ban szerzett biológus diplomát. 2017-ben védte meg Ph.D.-jét az Eötvös Loránd Tudomány Egyetemen Biológia Doktori iskolájában. Kutatási terület: Tízlabú rák, halbiológiai és herpetológiai vizsgálatok édesvízi rendszerekben. Vonalas létesítmények ökológiai hatásainak vizsgálata, ökológiai állapotértékelés, kockázatelemzés.

ERŐS TIBOR Ph.D. Az MTA Ökológiai Kutatóközpont tudományos főmunkatársa. Egyetemi tanulmányait ELTE biológus szakán végezte. 2005 óta dolgozik Tihanyban. Kutatási területe: halbiológia, hidrobiológia.

Fitoplankton és bakterioplankton produkció a Fertő nyílt vízében és nádasában

Tugyi Nóra*, Kovács W. Attila*, Vörös Lajos*, Boros Emil*, Tóth Viktor* és Somogyi Boglárka*

* MTA Ökológiai Kutatóközpont, Balatoni Limnológiai Intézet, 8237 Tihany, Klebelsberg Kuno u. 3.

(E-mail: tugyi.nora@okologia.mta.hu)

Kivonat

A Fertő magyarországi területének túlnyomó részét zárt nádas borítja, amelyen belül elkülöníthetünk nyílt vízü foltokat és belső tavakat. A nádasban belül egy csatornarendszer található, amely elősegíti a víz cseréjét a nyíltvíz és a nádállományok között. A tó nyílt vízében, a belső tavakban és a nádasok belsejében a baktériumok számára alapvető fontosságú oldott szerves szén (DOC) eltérő forrásból származik: míg a nyílt vízben a fitoplankton, addig a nádasban, illetve a belső tavakban a makrofíton elsődleges termelése a meghatározó. Célunk volt a heterotróf bakteriális produkció és a vízi elsődleges szervesanyag termelés (fitoplankton + makrofítonok) közötti összefüggés feltárása a Fertőben. A fitoplankton és bakterioplankton produkcióját 2015 és 2016 ősze között mértük havi rendszerességgel a tó nyílt vízében (B0), a Kis-Herlakni tóban és egy, a belső csatornaövé közelében található nádas állományban. A fitoplankton elsődleges termelését ^{14}C módszerrel, míg a bakteriális produkciót ^3H jelölt leucin felvételen alapuló módszer segítségével határoztuk meg. A vizsgált időszakban a mikrobiális aktivitás jelentős szezonális dinamikát mutatott, a legmagasabb értékeket minden mintavételi hely esetében nyáron mértük. A nyílt vízben a fitoplankton fotoszintézise 53 és 460 mg C/m²/nap, míg a bakteriális produkció 17 és 226 mg C/m²/nap közt változott. A makrofítonokkal körülvett vízterekben a fitoplankton fotoszintézise jelentősen alacsonyabb volt, mint a nyílt vízben: a Kis-Herlakni tóban 9 és 170 mg C/m²/nap, míg a nádas állományban 6,5 és 290 mg C/m²/nap közt változott. A bakteriális produkció ezzel szemben a makrofítonokkal körülvett vízterekben volt magasabb: a Kis-Herlakni tóban 23 és 195 mg C/m²/nap, míg a nádas állományban 10 és 340 mg C/m²/nap közt változott. A kapott eredmények alapján a Fertő nádas övében a heterotróf bakterioplankton szerepe sokkal jelentősebb, mint a nyílt vízben. A bruttó heterotróf bakteriális produkció (BP) értékek (57 és 82 g C/m²/év) ezen a téren jelentősen meghaladták a fitoplankton elsődleges termelését (PP; 21 és 35 g C/m²/év), szemben a nyílt vízzel, ahol a fitoplankton elsődleges termelése volt nagyobb (PP: 82 g C/m²/év; BP: 32 g C/m²/év). A mért adatok azt sugallják, hogy amíg a tó nyílt vízében a heterotróf baktériumok számára a fitoplankton által termelt szén döntő jelentőségű, addig a nádas övében elsősorban a makrofíton-eredetű szénforrás áll rendelkezésre a baktériumok számára. A tanulmányt az OTKA K116666 pályázat támogatta.

Kulcsszavak

Bakterioplankton, fitoplankton, vízi makrofítonok, oldott szerves szén, produkció.

Production of phytoplankton and bacterioplankton in the open water and within the reed belt of Lake Fertő/Neusiedler See

Abstract

Hungarian part of Neusiedler See is mostly covered by a dense reed vegetation, in which smaller and larger water bodies (inner lakes) can be found, which are connected by an artificial canal system. Dissolved organic carbon, which is essential for heterotrophic bacteria may derive from different sources: in the open water the primary production of the phytoplankton is the most important, while inside the reed belt, the production of the reed has the main role. The aim of our study was to determine the role of bacterioplankton and to assess how heterotrophic bacterial production relates to total primary production (phytoplankton + macrophytes) in a large shallow lake. Production of phytoplankton and bacterioplankton was measured in the open water and inside the reed belt (one inner lake and one reed sampling station) monthly between October 2015 and September 2016. Primary production was determined by ^{14}C method and bacterial production was determined by ^3H labelled leucine incorporation method. According to the obtained results, microbial activity showed a remarkable, seasonal dynamics with higher values during the warm months. In the open water, the phytoplankton production was between 53 and 460 mg C/m²/day, while heterotrophic bacterial production was between 17 and 226 mg C/m²/day. Phytoplankton production was lower within the macrophyte-covered regions, than in the open water: it varied between 9 and 170 mg C/m²/day in Kis-Herlakni and between 6.5 and 290 mg C/m²/day at the reed sampling station. Contrary to this, the heterotrophic bacterial production was higher within the macrophyte-covered regions: it ranged between 23 and 195 mg C/m²/day in Kis-Herlakni and between 10 and 340 mg C/m²/day at the reed sampling point. Our results suggest that bacterioplankton has higher role in the littoral zone (reed belt) of Lake Fertő than in the open water. Yearly gross heterotrophic bacterial production inside the reed belt (57 and 82 g C/m²/year) exceeded the primary production of the phytoplankton (21 and 35 g C/m²/year), while in the open water, the primary production (82 g C/m²/year) was higher than the gross heterotrophic bacterial production (32 g C/m²/year). We conclude that DOC originates from aquatic macrophytes is the most important carbon source for bacterioplankton inside the reed belt of Lake Fertő. Study was sponsored by OTKA K116666.

Keywords

Bacterioplankton, phytoplankton, aquatic macrophytes, dissolved organic carbon, production.

BEVEZETÉS

A fitoplankton által megkötött szén jelentős része (~50%) a mikrobiális táplálékhálózaton (microbial loop) halad keresztül a világóceánokban, tengerekben és édesvizekben egyaránt (Azam 1983, Cho és Azam 1988, Wikner és

Hangström 1991, Vörös és társai 1996). A mikrobiális táplálékhálózaton belül a heterotróf baktériumok asszimilálják az oldott szerves szénvegyületeket és eljuttatják a heterotróf és mixotróf egysejtűekhez, illetve a magasabb trofitási szintek felé. Óceánokban, tengerekben és mély

tavakban az oldott szerves szénvegyületek többsége jellemzően fitoplankton eredetű, ezekben a vizekben a heterotróf bakteriális produkció erősen függ a fitoplankton elsődleges termelésétől (Azam 1983). Irodalmi adatok alapján ezekben a vizekben a heterotróf bakteriális produkció a nettó elsődleges termelés (NPP) körülbelül 1/3-át teszi ki (Cole és társai 1988). Sekély tavakban azonban a vízben oldott szerves szénvegyületek származhatnak a fitoplankton mellett a vízi növényektől egyaránt, illetve egyéb külső forrásból (pl. szennyvíz bevezetésből). A szerves szén, eredetétől függően (fitoplankton, különböző típusú makrofitonok stb.) változatos összetételű és eltérő módon hozzáférhető lehet a baktériumok számára. Ugyanakkor, amíg azokban a vizekben (mély tavak, tengerek), ahol az algák képezik az elsődleges termelés döntő hányadát, a bakterioplankton anyagforgalmi jelentősége jól ismert, addig a vízinövényekkel borított vizekben (sekély tavaink jelentős része, nagy tavak parti régiói) a bakterioplanktonról csak igen kevés, egymásnak sokszor ellentmondó információval rendelkezünk (Azam 1983). Általánosan elfogadott nézet, hogy a tavak parti régiójában a heterotróf bakteriális produkció jelentősen magasabb, mint a nyílt vízben (Reitner és társai 1999, Likens 2010 és hivatkozásai). Mezokozmosz kísérletekkel igazolták, hogy a makrofiton eredetű szerves anyagok nagyobb mértékben növelik meg a bakteriális produkciót, mint az alga eredetű szerves anyagok (Wehr és társai 1999). Ezzel szemben néhány szubtrópusi sekély tó parti régiójában a magasabb DOC koncentráció ellenére a heterotróf bakteriális produkció alacsonyabb volt, mint a nyílt vízben (They és társai 2010). Egy későbbi vizsgálat során azt tapasztalták, hogy egy mezotróf sekély tó parti régiójában mind a DOC koncentráció, mind a bakteriális produkció alacsonyabb volt, mint a nyílt vízben (They és társai 2010). Ezek az egymásnak látszólag ellentmondó eredmények egyaránt tükrözik a környezeti faktorok eltérő mivoltát, illetve a szerves anyag készlet (DOC pool) mennyiségi és összetételbeli (amely eltérő biológiai hozzáférhetőséget eredményezhet) változatosságát a különböző vizekben.

A Fertő, különösen a hazai tóréssz, erős makrofiton dominanciával jellemezhető (85%), teljes területének mintegy 55 %-a nádasal borított. A nádas állományon belül ritkább tarfoltok, illetve nagyobb méretű, ún. belső tavak egyaránt előfordulnak (Löffler 1979). Egy korábbi tanulmányban megállapították, hogy a Fertő nyílt vízében a bakterioplankton számára sokkal jelentősebb a makrofiton eredetű oldott szerves szén, mint a fitoplankton eredetű (Reitner és társai 1999), rámutatva ezzel a Fertőben a makrofitonokból származó szénvegyületek jelentőségére, mint fontos bakteriális szénforrásra. A korábbi vizsgálatok ellenére azonban a heterotróf baktériumok szerepéről a Fertőben csak szegényes információk állnak rendelkezésre, különösen a nádas övben, ahol a nád szerves anyag termelése a meghatározó.

CÉLKITŰZÉS

Célunk volt a heterotróf bakterioplankton szerepének megismerése a Fertőben, különös tekintettel a nádas övre. Célunk volt továbbá a heterotróf bakteriális produkció és a vízi elsődleges szerves anyag termelés (fitoplankton +

makrofitonok) közötti összefüggés feltárása a Fertő különböző területein (nyílt víz, nádas öv).

ANYAG ÉS MÓDSZER

A Fertőn három mintavételi helyszínt jelöltünk ki: egy nyílt vízi pontot- B0 (É47°73.459; K16°71.941), valamint két nádas állományon belüli mintavételi pontot: a Kis-Herlakni belső tavat (É47°68.460; K16°70.272) és egy, a belső csatornaöv közelében található nádas állományban lévő bevágást, továbbiakban nádas mintavételi pont (É47°65.432; K16°72.517). 2015 és 2016 októbere között havi rendszerességgel mértük a fitoplankton elsődleges termelését, valamint a bakteriális produkciót. A fitoplankton minták elsődleges termelését ¹⁴C-módszerrel (Steemann Nielsen 1952) határoztuk meg. Mintavételi alkalmanként a vízmintákat üvegedényekben (20 ml), fénygrádiens mentén (25, 50, 94, 230, 400, 680, 1211 és 2000 μmol/m²/s) sötét kontrollt alkalmazva *in situ* hőmérsékleten 2 órán keresztül inkubáltuk három párhuzamban. A mintákhoz alkalmanként 0,06-0,09 MBq NaH¹⁴CO₃-ot adtunk. Az inkubációt követően a vízmintákat 0,45 μm pórusbőségű kevert cellulóz észter membránra (Millipore) szűrtük, majd cc. HCL gőzben való 45 perces inkubálás után Bray típusú szcintillációs koktélaban (10 ml) oldottuk fel. A beépült radioaktivitást TRI-CARB 2100TR (PACKARD) folyadékszscintillációs számlálóval mértük. A fitoplankton fotoszintézise és a fényintenzitás közötti kapcsolatot Platt és társai (1980) által leírt fotoinhibíciós modell alapján jellemeztük. A fitoplankton napi produkcióját a laboratóriumban mért P-I görbék, a globálsugárzás, a vízmélység és a mintavételi helyen mért vertikális extinkciós koefficiensek segítségével becsültük.

A bakteriális produkciót ³H-val jelölt leucin felvételen alapuló módszerrel (Kirchman 1985, Gasol 1989) határoztuk meg. A vízmintákhoz (1,2 ml) adtunk 250 nmol koncentrációjú (Michaelis-Menten enzimkinetika alapján meghatározott) radioaktívan jelölt és nem jelölt leucin-oldat keverékét 10:1 arányban, három párhuzamban. Kontrollként egy triklórecetsavval (TCA) előlt vízmintát alkalmaztunk, amelyhez 50 nmol koncentrációban adtunk a fentebb megadott arányban leucin-oldat keverékét. A vízmintákat ezután helyszínen inkubáltuk maximum 1 órán keresztül (az inkubációs időt a vízhőmérséklet függvényében határoztuk meg), majd a leucin felvételt TCA hozzáadásával állítottuk meg. A felvett leucint centrifugálással különítettük el. Az Eppendorf csövek alján keletkezett üledék TCA-val történő tisztítása után a kiülepedett sejteket Bray-szcintillációs koktélaban (1 ml) oldottuk fel. Ezt követően 24 óra elteltével folyadékszscintillációs számlálóval mértük a radioaktivitást. A mért nettó bakteriális produkció értékekből a bruttó produkció értékeket del Giorgio és Cole (1998) egyenlete alapján számítottuk ki.

A fitoplankton biomasszáit a nanofitoplankton esetében fordított planktonmikroszkóppal, míg a pikométerű algák esetében, az epifluoreszcens mikroszkópos felvételek elemzése alapján határoztuk meg (Jiao és társai 2006). A bakterioplankton biomasszáit pedig DAPI-fluorofórral (Porter és Feig 1980) festett minták epifluoreszcens mikroszkópos felvételeinek elemzésével

határoztuk meg YABBA-2011 szoftver segítségével (Zeder 2011).

Mértük továbbá a lebegőanyag koncentrációt; TSS (Eaton és társai 1995) a barna színű oldott szerves anyagok koncentrációját; Pt szín (Coble 1996), valamint az a-klorofill koncentrációt (Németh 1998).

EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELEÉSÜK

A három mintavételi hely egymástól jelentősen eltérő volt. Az összes lebegőanyag koncentráció jelentősen

nagyobb volt a nyílt vízben (éves átlag: 53 mg/l), mint a belső tóban (éves átlag: 3 mg/l) és a nádasban (éves átlag: 5 mg/l) (1. táblázat). A barna színű oldott szerves anyagok (Pt szín) koncentrációja viszont ezzel ellentétes volt, a belső tóban (éves átlag: 140 mg/l) és a nádasban (éves átlag: 160 mg/l) mértünk nagyobb értékeket, míg a nyílt vízben csupán 22 mg/l volt (1. táblázat). Az a-klorofill koncentráció a nyílt vízben nagyobb volt (éves átlag: 12 µg/L), mint a belső tóban (éves átlag: 4 µg/L) és a nádasban (éves átlag: 9 µg/L).

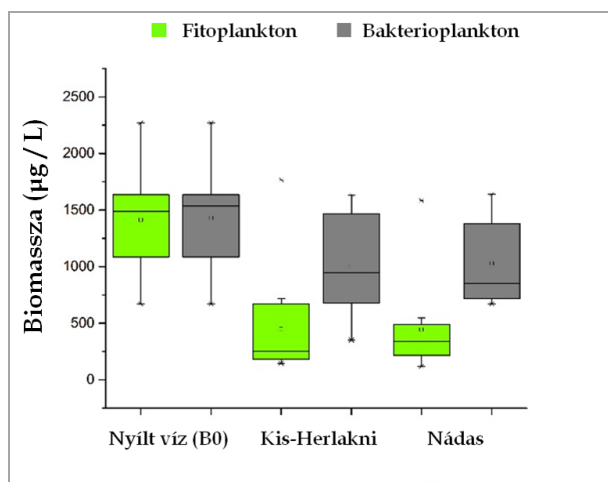
1. táblázat. A lebegőanyag, a barna színű oldott szerves anyag és az a-klorofill változása a Fertő különböző területein 2015 és 2016 október között

(Rövidítések: TSS (összes lebegőanyag), CDOM (színes oldott szerves anyagok), B0 (nyílt vízi pont), KH (Kis-Herlakni) és N (nádas))

Table 1. Total suspended solids, coloured dissolved organic matter and chlorophyll a concentration at different sampling sites of Lake Fertő between October 2015 and 2016

(Abbreviations: TSS concentration (total suspended solids), CDOM concentration (colour dissolved organic matter), B0 (open water), KH (Kis-Herlakni) and N (reed stand))

	TSS koncentráció (mg/L)			CDOM koncentráció (mg Pt/L)			a-klorofill koncentráció (µg/L)		
	B0	KH	N	B0	KH	N	B0	KH	N
október	104.8	7.08	2.87	27	156	179	11.5	7.5	4.52
november	39.2	1.76	3.16	21	122	128	7.81	2.34	3.31
december	15.9	0.96	1.47	24	121	135	7.95	1.49	2.13
február	17	3.93	4.36	27	121	111	10.44	3.66	2.82
március	29.67	1.45	3.12	20	147	181	12.36	1.47	1.6
április	116.67	3.29	6.15	39	137	158	18.89	2.8	4.62
május	26.03	4.63	6.28	19	148	155	6.6	2.84	2.06
június	99.8	5.67	13.59	14	131	87	14.48	4.02	5.96
július	56.63	1.47	3.42	21	164	183	19.03	4.64	7.25
augusztus	29.6	1.11	5.63	17	175	260	13.2	2.68	19.69
szeptember	25	1.34	0.63	22	94	89	14.06	8.33	8.1



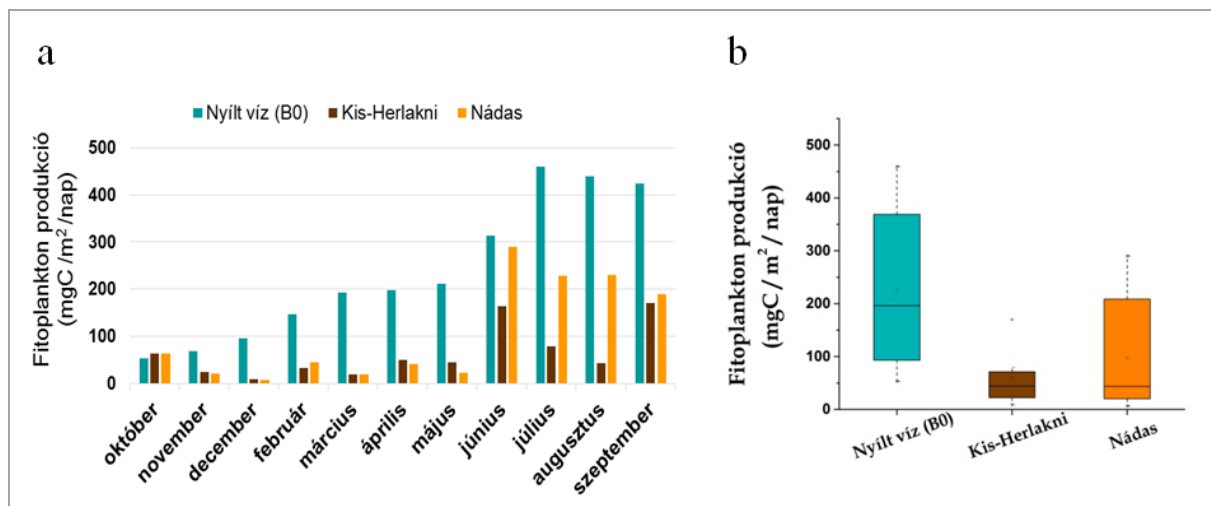
1. ábra. A fitoplankton- és a bakterioplankton biomassa a Fertő különböző területein 2015 és 2016 október között

Figure 1. Phytoplankton and bacterioplankton biomass at different sampling stations of Lake Fertő between October 2015 and 2016

A biomassa adatokat tekintve jelentős különbségeket tapasztaltunk a mintavételi helyek között. A nyílt vízben a fitoplankton és a bakterioplankton biomassa éves átlagos értéke közel azonos (~1500 µg/L) volt (1. ábra). A makrofitonokkal borított mintavételi helyek esetében

viszont a bakterioplankton biomasszája jelentősen meghaladta a fitoplanktonét. A Kis-Herlakni esetében az éves átlag fitoplankton biomassa 250 µg/L volt, míg a baktériumok négyszeres biomasszával képviselték magukat (1000 µg/L). A nádasban szintén közel háromszor nagyobb volt a bakterioplankton biomasszája (éves átlag: 800 µg/L), a fitoplanktonhoz (éves átlag: 300 µg/L) képest (1. ábra).

A fitoplankton elsődleges termelése jelentős szezonális dinamikát mutatott, mindhárom mintavételi pont esetében magasabb produkciót mértünk a melegebb hónapokban. A nyílt vízben a legalacsonyabb produkció értéket októberben mértük (53 mg C/m²/nap), míg a legmagasabbat júliusban (460 mg C/m²/nap). A Kis-Herlakniban decemberben mértük a legalacsonyabb (9 mg C/m²/nap) és szeptemberben a legnagyobb (170 mg C/m²/nap) produkció értéket. A nádas mintavételi pont esetében szintén decemberben kaptuk a legkisebb (6,5 mg C/m²/nap), míg júniusban a legnagyobb produkció (290 mg C/m²/nap) értéket (2.a ábra). A nádas övben (Kis-Herlakni és nádas mintavételi pont) a fitoplankton produkciója jelentősen alacsonyabb (éves átlag: Kis-Herlakni - 60 mg C/m²/nap, nádas 90 mg C/m²/nap) volt, mint a nyílt vízben (éves átlag: 200 mg C/m²/nap) (2.b ábra).



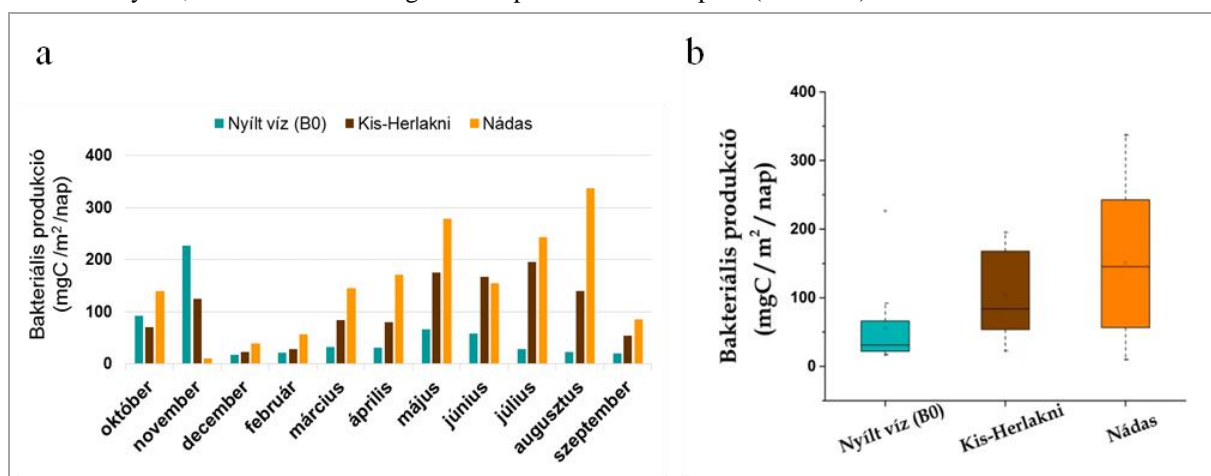
2. ábra. A fitoplankton produkció szezonális dinamikája 2015 és 2016 október között (2.a) és a produkció összehasonlítása a különböző mintavételi helyeken (2.b)

Figure 2. Seasonal dynamics of phytoplankton production between October 2015 and 2016 (2.a) and a box-plot diagram comparing the primary production of the different sampling points (2.b)

(Megjegyzés: A box-plot ábrákon az egyenes vonal jelzi a mediánt, míg a boxokban levő pontok az átlag értékeket jelölik)

A bakteriális produkcióra szintén jellegzetes szezonális dinamika volt jellemző. A nyílt vízben, decemberben mértük a legalacsonyabb bakteriális produkciót, amely 17 mg C/m²/nap volt, míg a legmagasabbat novemberben (226 mg C/m²/nap). A Kis-Herlakni tóban szintén decemberben mértük a legkisebb értéket (23 mg C/m²/nap), míg júliusban a legnagyobbat (195 mg C/m²/nap). A nádas állományban, novemberben 10 mg C/m²/nap volt a

legalacsonyabb a heterotróf bakteriális produkció és a legmagasabb az augusztusi érték (340 mg C/m²/nap) volt. (3.a. ábra). A bakteriális produkció a fitoplanktonnal szemben a makrofítonokkal körülvett vizekben volt magasabb. A nyílt vízben a bakteriális produkció éves átlagértéke 56 mg C/m²/nap volt, míg a belső tóban és a nádasban 100 mg C/m²/nap és 150 mg C/m²/nap értékeket kaptunk (3.b. ábra).



3. ábra. A bakteriális produkció szezonális változása a mintavételi helyek között 2015 és 2016 október között (3.a) és a produkció összehasonlítása a különböző mintavételi helyeken (3.b)

Figure 3. Seasonal dynamics of heterotrophic bacterial production between October 2015 and 2016 (3.a) and a box-plot diagram comparing the production at the different sampling stations (3.b)

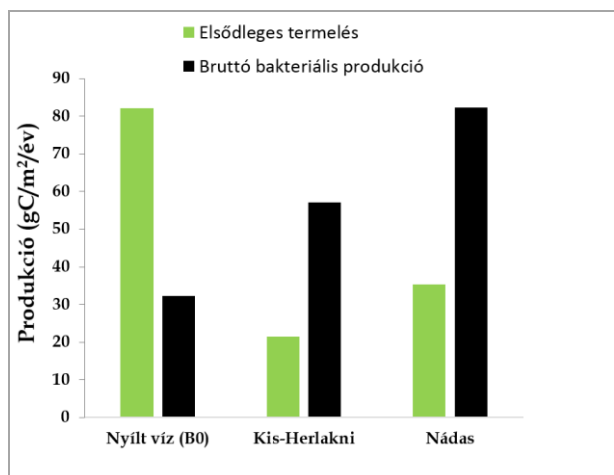
Éves szinten a fitoplankton elsődleges termelése a nyílt vízben 82 g C/m²/év, a Kis-Herlakniban 21 g C/m²/év, a nádas mintavételi ponton pedig 35 g C/m²/év volt. Az éves bruttó heterotróf bakteriális produkció a nyílt vízben 32 g C/m²/év, a Kis-Herlakniban 57 g C/m²/év, a nádas mintavételi ponton pedig 82 g C/m²/év volt (4. ábra).

A kapott eredmények alapján a Fertő nádas övében a heterotróf bakterioplankton szerepe sokkal jelentősebb volt, mint a nyílt vízben. A bruttó heterotróf bakteriális produkció értékek ezen a téren jelentősen megha-

ladták a fitoplankton elsődleges termelését, szemben a nyílt vízzel, ahol a fitoplankton elsődleges termelése volt nagyobb.

A mért adatok azt sugallják, hogy amíg a tó nyílt vízében a heterotróf baktériumok számára a fitoplankton által termelt szén döntő jelentőségű, addig a nádas övében elsősorban a makrofíton eredetű szénforrás áll a baktériumok rendelkezésére. A makrofíton eredetű szerves szénforrás jelentőségére a Fertőben korábban Reiter és társai (1999) hívták fel a figyelmet, azonban az általuk becsült produkció értékek az inkubált vízminta planktonhálón

történő előzetes átszűrése miatt jelentősen alulbecsülték a fitoplankton elsődleges termelését.



4. ábra. A fitoplankton- és a heterotróf bakterioplankton produkció éves összege a Fertő különböző mintavételi helyein
Figure 4. Annual sum of phyto-and bacterioplankton production at the different sampling stations of Lake Fertő

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatást az OTKA K116666 pályázat támogatta. Köszönet illeti Szabó Timeát és Németh Balázst a terepi munkák kivitelezésében, továbbá a laboratóriumi mérésekben nyújtott segítségükért. Köszönettel tartozunk továbbá Mogyorósi Sándornak és Udvardy Ferencnek, a Fertő-Hanság Nemzeti Park Természetvédelmi őreinek.

IRODALOMJEGYZÉK

Azam F. and others (1983). The ecological role of water-column microbes in the sea. – *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 10, 257-263.

Cho B. C., Azam F. (1988). Major role of bacteria in biogeochemical fluxes in the ocean's interior. *Nature* 332, 441-43.

Coble P. G. (1996). Characterization of marine and terrestrial DOM in seawater using excitation-emission matrix spectroscopy. *Science* 167, 1119-1121.

Cole J. J., Findlay S., Pace M. L. (1988). Bacterial production in fresh and saltwater ecosystems: a cross-system overview. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 43, 1-10.

Eaton A. D., Clesceri L. S. & Greenberg A. E. (1995). Solids. In *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 19th. American Public Health Association, USA, 1-47.

del Giorgio P. A. & Cole J. J. (1998). Bacterial growth efficiency in natural aquatic systems. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 29, 503-541.

Jiao N., Zhang Y. & Chen Y. (2006). Time series observation based InfraRed Epifluorescence Microscopic (TIREM) approach for accurate enumeration of bacterio-

chlorophyll-containing microbes in marine environments. *J. Microbiol. Meth.* 65, 442-452.

Gasol J. M. (1999). – <http://www.cmima.csic.es/pub/gasol/Manuals/ProdBact/Leucine.htm#top>

Kirchman D., K'nees E., Hodson R. (1985). Leucine incorporation and its potential as a measure of protein synthesis by bacteria in natural aquatic systems. *Appl. Environ. Microbiol.* 49, 599-607.

Likens GE (ed) (2010). *Lake Ecosystem Ecology*. Elsevier, Academic Press.

Löffler H (1979). Neusiedler See: the limnology of a shallow lake in central Europe. *W. Junk. Publ.*, The Hague

Németh J. (1998). A biológiai vízminősítés kérdései. Víz természet és környezetvédelem 7. KGI. Budapest 1-303.

Platt T., Gallegos C. L., & Harrison W. G. (1980). Photoinhibition of photosynthesis in natural assemblages of marine phytoplankton. – *J. Marine Res.* 38, 4, 687-701.

Porter K. G., Feig Y. S. (1980). The use of DAPI for identifying and counting aquatic microflora. *Limnol. Oceanogr.* 25, 943-948.

Reitner B., Herzig A. & Herndl G. J. (1999). Dynamics in bacterioplankton production in a shallow, temperature lake (Lake Neusiedl, Austria): evidence for dependence on macrophyte production rather than on phytoplankton. *Aqu. Micr. Ecol.* 19, 245-254.

Steemann Nielsen E. (1952). The use of radioactive carbon (^{14}C) for measuring organic production in the sea. – *J. Cons. Perm. Int. Expl. Mer.* 18, 117-140.

They N. H., Marques D. M., Jeppesen E., Søndergaard M. (2010). Bacterioplankton in the littoral and pelagic zones of subtropical shallow lakes. *Hydrobiologia* 646, 311-326.

Vörös L., V-Balogh K. and Herodek S. (1996). Microbial food web in a large shallow lake (Lake Balaton, Hungary). – *Hydrobiologia* 339, 57-65.

Wehr J. D., Petersen J., Findlay S. (1999). Influence of three contrasting detrital carbon sources on planktonic bacterial metabolism in a mesotrophic lake. *Microbial. Ecol.* 37, 23-35.

Wikner J. and Hangström A. (1991). Annual study of bacterioplankton community dynamics. – *Limnol. Oceanogr.* 36, 1313-1324.

Zeder M., Kohler E., Zeder L., Pernthaler J. (2011). A novel algorithm for the determination of bacterial cell volumes that is unbiased by cell morphology. *Microsc. Microanal.* 17(5), 799-809.

A SZERZŐK

TUGYI NÓRA Tudományos segédmunkatárs, MTA Ökológiai Kutatóközpont, Balatoni Limnológiai Intézet. Másodéves PhD hallgató a Biológia Doktori Iskolában, az Eötvös Loránd Tudományegyetemen. Kutatási területek: a heterotróf baktériumok szerepének vizsgálata sekély tavakban, valamint az aerob anoxigenikus fotoheterotróf baktériumok elterjedésének, szerepének vizsgálata hazai vizekben. Elérhetőség: tugyi.nora@okologia.mta.hu

KOVÁCS W. ATTILA Tudományos munkatárs, MTA Ökológiai Kutatóközpont, Balatoni Limnológiai Intézet. Kutatási terület: Fitoplankton eredetű szervesanyag termelés vizsgálata eltérő trofitású hazai vizekben. Elérhetőség: kovacs.attila@okologia.mta.hu

VÖRÖS LAJOS Limnológus, algológus, MTA Ökológiai Kutatóközpont, Balatoni Limnológiai Intézet. Kutatja a felszíni vizek eutrofizációját, a vízgyűjtőterület és a befogadó kapcsolatát. Limnológiai, algológiai kutatásai kiterjednek a Balatonon kívül természetes és mesterséges sekély és mély tavakra valamint extrém élőhelyekre, mint a Kárpát-medence szikes tavai és az Erdélyi Sóvidék hipersós vizei. E-mail: voros.lajo@okologia.mta.hu

BOROS EMIL Tudományos főmunkatárs, MTA Ökológiai Kutatóközpont, Balatoni Limnológiai Intézet. Az Eurázsiai szikes, sós vizekkel és sekély tavakkal kapcsolatos limnológiai kutatások képezik fő tevékenységét. Ezen belül kiemelt témája az anyagforgalmi és trofikus kapcsolatok, a mezozooplankton, a makrogerinctelen és vízimadár közösségek kutatása, melyben közel 20 éves szakmai tapasztalata van. Emellett elsősorban tavak, vizes- és füves élőhelyek természetvédelmével, kezelésével és helyreállításával is foglalkozik, melyben több mint 25 éves gyakorlati tapasztalattal rendelkezik. E-mail: boros.emil@okologia.mta.hu

TÓTH VIKTOR Tudományos főmunkatárs. Kossuth Lajos Tudomány Egyetem (most Debreceni Egyetem) biotechnológus szakán végzett. Ugyan ott vagyis a KLTE TTK Teresztis Ökológiai Doktori programban folytatta tanulmányait. 1998 óta az MTA ÖK Balatoni Limnológiai Intézet munkatársa. Fő kutatási területe a magasabb rendű vízi növények ökológiája. E-mail: toth.viktor@okologia.mta.hu

SOMOGYI BOGLÁRKA Tudományos munkatárs, MTA Ökológiai Kutatóközpont, Balatoni Limnológiai Intézet. PhD fokozatát 2011-ben szerezte meg az Eötvös Loránd Tudományegyetemen, hidrobiológia szakterületen. Kutatási területe a fotoautotróf és heterotróf mikroorganizmusok dinamikájának és kapcsolatrendszerének vizsgálata természetes vizekben. Kiemelten foglalkozik pikoalga törzsek izolálásával, tenyésztésével, ökofiziológiai vizsgálatával, illetve molekuláris filogenetikai azonosításával. E-mail: somogyi.boglarka@okologia.mta.hu

Vízi makrofitonok gadolínium-kontrasztanyag mobilizációja

Zavanyi Györgyi*, Braun Mihály**, Laczovics Attila***, Berényi Ervin***, Szabó Sándor*

* Nyíregyházi Egyetem, 4400 Nyíregyháza, Sóstói út 31/B.

** MTA ATOMKI, 4032 Debrecen, Bem tér 18/c.

*** Debreceni Egyetem, ÁOK Orvosi Képző Intézet, 4032 Debrecen, Egyetem tér 1.

Kivonat

Az utóbbi negyed évszázad technológiáinak kifejlesztésével növekszik a gadolínium (Gd) felhasználása és kijuttatása a környezetbe. A magasabb Gd- koncentráció jellemző a világ azon metropoliszainak térségére, ahol nagy számú MRI vizsgálatot végeznek, és emiatt óriási mennyiségű gadolínium-tartalmú kontrasztanyag jut a felszíni vizekbe. Jelen vizsgálatunkban választ kerestünk arra a kérdésre, hogy a hínárnövények vajon képesek-e nagyobb mennyiségben felvenni a vízből a Gd-tartalmú kontrasztanyagokat, és azok milyen gyorsan jutnak be és távoznak a növényekből?

A vizsgált növényfajok egyikének sem volt szignifikáns hatása a tápoldat Gd-koncentrációjára. A tápoldat Gd-koncentrációjának emelésével viszont a békalencsék szöveti Gd-koncentrációja lineárisan növekedett, de nem érte el a tápoldat Gd-koncentrációját. A kontrasztanyagok közül a nyílt láncú ligandummal rendelkező Omniscan szignifikánsan nagyobb szöveti Gd-koncentrációt eredményezett, mint a makrociklusos Dotarem. A kontrasztanyagok koncentrációja a békalencsék szövetében egy nap alatt, a tócsagazban pedig négy nap alatt elérte a maximumát, és a tócsagazban szignifikánsan nagyobb szöveti Gd-koncentrációt eredményezett, mint a púpos békalencsében. Amennyiben a magas szöveti Gd-koncentrációjú békalencse-kultúrákat Gd-mentes tápoldaton tenyésztettük tovább, akkor a gadolínium koncentrációja a növényekben a felére csökkent. Eredményeink alapján kijelenthetjük, hogy a vizsgált kontrasztanyagok gyorsan jutnak be a makrofitonokba és gyorsan távoznak onnan. A vízinövények egyik kontrasztanyagot sem akumulálják, így nem is okozhatják az antropogén gadolínium dúsulását a táplálékláncban.

Kulcsszavak

Gadolínium-anomália, makrofitonok, akumuláció, kontrasztanyag, szöveti Gd-koncentráció.

Mobilisation of gadolinium contrast agent into aquatic plants

Abstract

Due to the development of new technologies, the utilisation of gadolinium (Gd) is increasingly rising and also it's releasing to the aquatic environment. Positive Gd-anomaly is frequently detected on those metropolitan area where due to large numbers of MRI (magnetic resonance imaging) patients, huge amount of MRI Gd-containing contrast agents (CA) are released to the surface waters. However, the impacts of these CA-s on the aquatic organisms still purely investigated. In the present study under laboratory conditions we investigated whether the four common aquatic macrophyte species (*Lemna gibba*, *Ceratophyllum demersum*, *Elodea nuttallii*, *E. canadensis*) are able to accumulate Gd-contrast agents in their tissue.

Neither of the four investigated macrophytes had significant impact on the Gd-concentration of water. However, with increasing Gd-concentration of the water, the tissue Gd-concentration of duckweed (*L. gibba*) increased. Nevertheless, tissue Gd-concentration of *Lemna* never exceeded the Gd-concentration of the water. The CA „Omniscan” having open chain ligand resulted significantly higher tissue Gd-concentration in duckweeds than Dotarem having macrocyclic ligand. The tissue concentration of CA-s reached it's maximum volume within one and four day in duckweeds and hornwort respectively and it's volume was significantly higher in hornwort. As duckweed plants having high tissue Gd-concentration were cultivated on Gd-free medium, the Gd-concentration was dropped to its half level within one and four days in case of Omniscan and Dotarem respectively. Our results indicated that neither Omniscan nor Dotarem are accumulated in the macrophytes. Therefore, there is a low risk that anthropogenic gadolinium forms are accumulated in the food chain.

Keywords

Gadolínium-anomaly, macrophyte, accumulation contrast agent, MRI.

BEVEZETÉS

Az utóbbi negyed évszázad új technológiáinak kifejlesztésével folyamatosan növekszik a ritkaföldfémek felhasználása (*Du és Gaedel 2011*), és ezzel arányosan azok kijuttatása a környezetbe (*Tepe és társai 2012*). Ezek hidroszférába történő antropogén bejutását először *Bau és Dulski (1996)* detektálta. A kutatók pozitív gadolínium (Gd)- anomáliát mutattak ki Berlin térségében a felszíni vizekben, talajvízben, továbbá a csapvízben is. Későbbi vizsgálatok megerősítették, hogy a pozitív Gd-anomália nemcsak lokális jelenség, hanem jellemző a világ azon metropoliszainak térségére, ahol a fejlett egészségügyi rendszer miatt nagy számú MRI- (mágneses rezonanciás képalkotás) vizsgálatot végeznek (*Kulaksiz és Bau 2007 és 2011, Tepe és társai 2014*).

A kontrasztanyagokat alkalmazó MRI-vizsgálatokat 1988-tól vezették be az orvosi diagnosztikában. Az MRI-hez a tisztán 1000-3000 mg Gd-tartalmú kontrasztanyagot intravénás injekcióval juttatják be a páciensek vérkeringésébe, mely 24-48 órán belül vizelettel távozik a testük-ből (*Swan és társai 1999*). Az MRI-vizsgálatok első bevezetése után mindössze egy évtized alatt már közel 100 millió fő esett át MRI-vizsgálatok miatt Gd-kontrasztanyag kezelésen. Ennek köszönhetően éves szinten 22-66 tonna gadolíniumot használnak fel világ szerte (*Kalaksiz és Bau 2011*).

A magas Gd-tartalmú kiürített vizelet a szennyvíz csatornahálózaton keresztül szinte teljes mértékben áthalad a szennyvíztisztító rendszereken (*Möller és Dulski 2006*).

Azokban a folyóparti nagyvárosokban, ahol a vízellátást parti szűrőszűtők biztosítják (pl. Nyugat-Berlin, London), ott az antropogén eredetű Gd-már a csapvízben is kimutatható (Kaluksiz és Bau 2011), mivel a folyóparti szűrőréteg nem akadályozza meg Gd-komplexek mozgását a hidroszférában (Möller és társai 2010). A folyóvizekből a Gd-kontrasztanyagok nagy része végül a tengerekbe is eljut. Pozitív Gd-anomália kimutatható volt az Északi-tenger öbleiben (Kaluksiz és Bau 2007), a Csendes Óceán öbleiben (Nagoya, Japán), Zhu és társai (2004) és a Földközi Tenger öbleiben is (Rabiet és társai 2009).

Az eddigieket áttekintve megállapíthatjuk, hogy számos eredmény látott napvilágot az antropogén Gd-komplexek hidrológiai és geológiai viselkedéséről. Ennek ellenére meglepően szerény mennyiségű vizsgálat foglalkozik a Gd-komplexek vízi szervezetekre gyakorolt hatásaival (Kaluksiz és Bau 2007, Merchel és Bau 2015). Egyetlen publikáció sem foglalkozott azzal a kérdéssel, hogy a vízi makrofítonok vajon képesek-e nagyobb mértékben akkumulálni a Gd-komplexeket. Teljesen nyitott kérdés maradt az is, hogy az autotróf vízi szervezeteken keresztül bekerülhet-e az antropogén gadolínium a táplálékláncba.

Jelen vizsgálatunkban választ kerestünk arra a kérdésre, hogy a hínárnövények vajon képesek-e akkumulálni szöveiteikben a felszíni vizekbe bejutó Gd-tartalmú kontrasztanyagokat? További kérdésünk, hogy a közegben levő gadolínium-komplexeket milyen gyorsan veszik fel a vízinövények, továbbá a felvett gadolínium testükből milyen gyorsan jut vissza a vízbe.

ANYAG ÉS MÓDSZER

A vizsgálatokhoz olyan növényeket választottunk ki, amelyek gyors növekedést mutatnak, nagy tűrőképességűek és képesek megélni magas tápanyagtartalmú (hipertróf) körülmények között is. A púpos békalencsét (*Lemna gibba*) és az érdes tócsagaszt (*Ceratophyllum demersum*) Nyíregyháza-Sóstóhegy határában folyó Igrice csatornából, az aprólevelű átokhínárt (*Elodea nuttallii*) Hajdúnánás térségében a Keleti Főcsatornából, a kanadai átokhínárt (*E. canadensis*) pedig Bodrogheresztúron, a Bodrog parton gyűjtöttünk.

A növényeket Barko és Smart (1985) által kidolgozott tápoldaton tartottuk. A púpos békalencsét 10 mgN L^{-1} , 2 mgP L^{-1} , a szubmerz növényeket (*C. demersum*, *E. nuttallii*, *E. canadensis*) pedig 2 mgN L^{-1} , $0,4 \text{ mgP L}^{-1}$ tápelemkoncentráción neveltük, NH_4NO_3 és K_2HPO_4 törzsolatok hozzáadásával (Szabó és társai 2003, Szabó és társai 2010). A tápoldat mikroelem tartalmát Tropica oldattal (10000 szoros hígítás) biztosítottuk. A növények nevelése $220 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ megvilágításon, 16/8 óra foto-perióduson, 25°C hőmérsékleten történt. A gadolínium kontrasztanyagok hínárnövényekben történő mobilizációjának vizsgálatát négy egymásra épülő kísérletben végeztük el.

Hínárnövények hatása a tápoldat Gd-koncentrációjára

A kísérlet célja, hogy megmérjük, hogy négy különböző hínárnövény jelenlétében változik-e a tápoldat Gd-

koncentrációja. A 2 L térfogatú tápoldatokba makrociklusos Dotarem kontrasztanyagot adtunk. A Gd-koncentrációja a tápoldatban $1 \mu\text{g L}^{-1}$ volt. A tápoldatokat két literes akváriumokba töltöttük, melyekbe 10-10 g nedves tömegű hínárnövényt (*L. gibba*, *C. demersum*, *E. nuttallii*, *E. canadensis*) helyeztünk. A gadolínium kezelésnek kitett hínárnövény kultúrákat a hat napon keresztül neveltük. A tápoldatból a kísérlet 0. (kezdeti) 1., 2., 4. és 6. napján mintát vettünk és $0,45 \mu\text{m}$ porúsátmérőjű membránszűrőn szűrtük majd ICP MS módszerrel (Agilent 8800tripplequad) meghatároztuk a vízminták Gd-koncentrációját.

Változás a szöveti Gd-koncentrációban

A kísérlet célja, hogy a tápoldat széles Gd-koncentrációtartományában megmérjük a békalencsék (*L. gibba*) szöveti Gd-koncentrációjának változását. A tápoldat Gd-koncentrációját a kísérlet kezdetén 1, 2, 4, 8, 16, 64, 128, $256 \mu\text{g L}^{-1}$ re állítottuk be, Dotarem kontrasztanyag hozzáadásával. A kísérleti növények kiindulási biotasszája $1000 \pm 2 \text{ mg}$ volt. A kultúrákat 300 ml tápoldaton neveltük 8 napon keresztül. A tápoldatból a kísérlet 0. (kezdeti) és 8. napján mintát vettünk és $0,45 \mu\text{m}$ porúsátmérőjű membránszűrőn szűrtük majd meghatároztuk a minták Gd-koncentrációját. A kísérlet végén a békalencsét learattuk, megmértük a növények nedves és száraz tömegét, majd a minta savas roncsolását követően meghatároztuk a minták Gd-koncentrációját.

Makrofítonok Gd-felvétele

A kísérlet célja, hogy megmérjük a Gd-kontrasztanyagok hínárnövényekbe (*L. gibba*, *C. demersum*) való bejutásának dinamikáját különböző Gd-kontrasztanyagokkal. A tápoldatokba kétféle kontrasztanyagot adtunk makrociklusos Dotarem-et, ill. nyílt láncú Omniscan-t, melyek Gd-koncentrációja a tápoldatban $256 \mu\text{g L}^{-1}$ volt. A tápoldatokat két literes akváriumokba töltöttük, melyek egy részébe 10 g *L. gibba*, illetve 40 g biotasszájú *C. demersum* növényt helyeztünk. A gadolínium kezelésnek kitett hínárnövény kultúrákat nyolc napon keresztül inkubáltuk. A tenyészedényekből a kísérlet 0. 0,5, 1, 2, 4 és 8. napján $2000 \pm 2 \text{ mg}$ *L. gibba*, ill. *C. demersum* növényt vettünk, a learatott növényeket 105°C hőmérsékleten szárítottuk, megmértük a tömegüket. Az egyes szárított mintákhoz ($100\text{--}200 \text{ mg}$) 5 ml 65%-os HNO_3 és 5 ml 30%-os H_2O_2 hozzáadásával nedves roncsolást végeztünk. A feltárt mintát ioncsérélt vízzel 50 mL -re oldottuk fel, majd induktív csatolású plazma tömegspektrometriás (ICP-MS) módszerrel (Agilent 8800 tripplequad) meghatároztuk a minta gadolínium koncentrációját.

A gadolínium kioldódása a hínárnövényekből

A kísérlet célja, hogy meghatározzuk a Gd-kontrasztanyagok hínárnövényekből (*L. gibba*) történő kioldódásának dinamikáját különböző Gd-kontrasztanyagokkal. A békalencsék tápoldataiba kétféle kontrasztanyagot adtunk zárt láncú Dotarem-et, ill. nyílt láncú Omniscan-t, melyek Gd-koncentrációja a tápoldatban $256 \mu\text{g L}^{-1}$ volt. A tápoldatokat két literes akváriumokba töltöttük, melyekre 3 g *L. gibba* növényt helyeztünk. oly módon, hogy megakadályozzuk egyrészt a békalencsék önárnyékolását (intraspecifikus kompetíció), másrészt az algák kompetitív gátlóhatását is (Szabó és

társai 2003). A tenyészedényekből a békalencsákat (10-12 g biomassza) learattuk a kísérlet 8. napján. A learatott növényeket csapvízzel leöblítettük. A Dotarem és Omniscan kontrasztanyag kezelésnek kitett békalencséből 2000 ± 2 mg mennyiségeket 200 mL térfogatú Gd-mentes tápoldaton neveltünk tovább. Az inkubáció 0-21 napja között nyolc alkalommal 3-3 db Dotarem és Omniscan kezelésnek kitett kultúrából vízminztát vettünk és learattuk a békalencsék teljes mennyiségét. A learatott növényeket 105°C hőmérsékleten szárítottuk, megmértük a tömegüket. A tápoldatból és savas ronsolás után a növényi mintákból megmértük a gadolínium-koncentrációt.

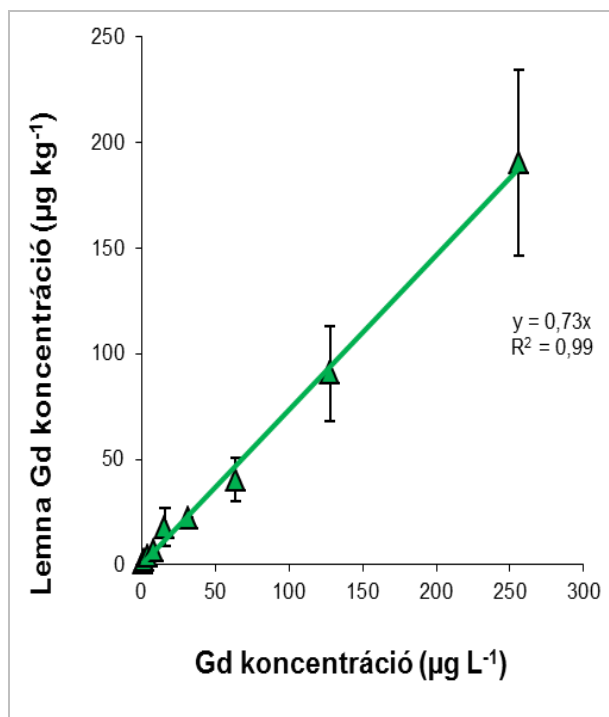
EREDMÉNYEK ÉS MEGVITATÁS

Hínárnövények hatása a tápoldat Gd-koncentrációjára

A tápoldat Gd-koncentrációja az idővel nem mutatott szignifikáns változást, továbbá a vizsgált négy növényfajnak sem volt szignifikáns hatása a tápoldat Gd-koncentrációjára ($P=0,319$, ANOVA).

Változás a szöveti Gd-koncentrációban

A tápoldat Gd-koncentrációja szignifikáns ($P<0,001$, ANOVA) hatású volt a békalencsék szöveti Gd-koncentrációjára. A koncentráció emelésével a szöveti Gd-koncentráció lineárisan növekedett és 27%-kal volt kevesebb a tápoldat Gd-koncentrációjánál (1. ábra).



1. ábra. A tápoldat kiindulási Gd-koncentrációjának hatása a *Lemna* szöveti gadolínium-koncentrációjára
(Megjegyzés: A hibaszávok az eredmények szórásai, $n=3$)
Figure 1. Relationship between initial Gd concentration of water and Gd concentration of *L. gibb*
(Note: Error bars indicate the standard deviation of the data, $n=3$)

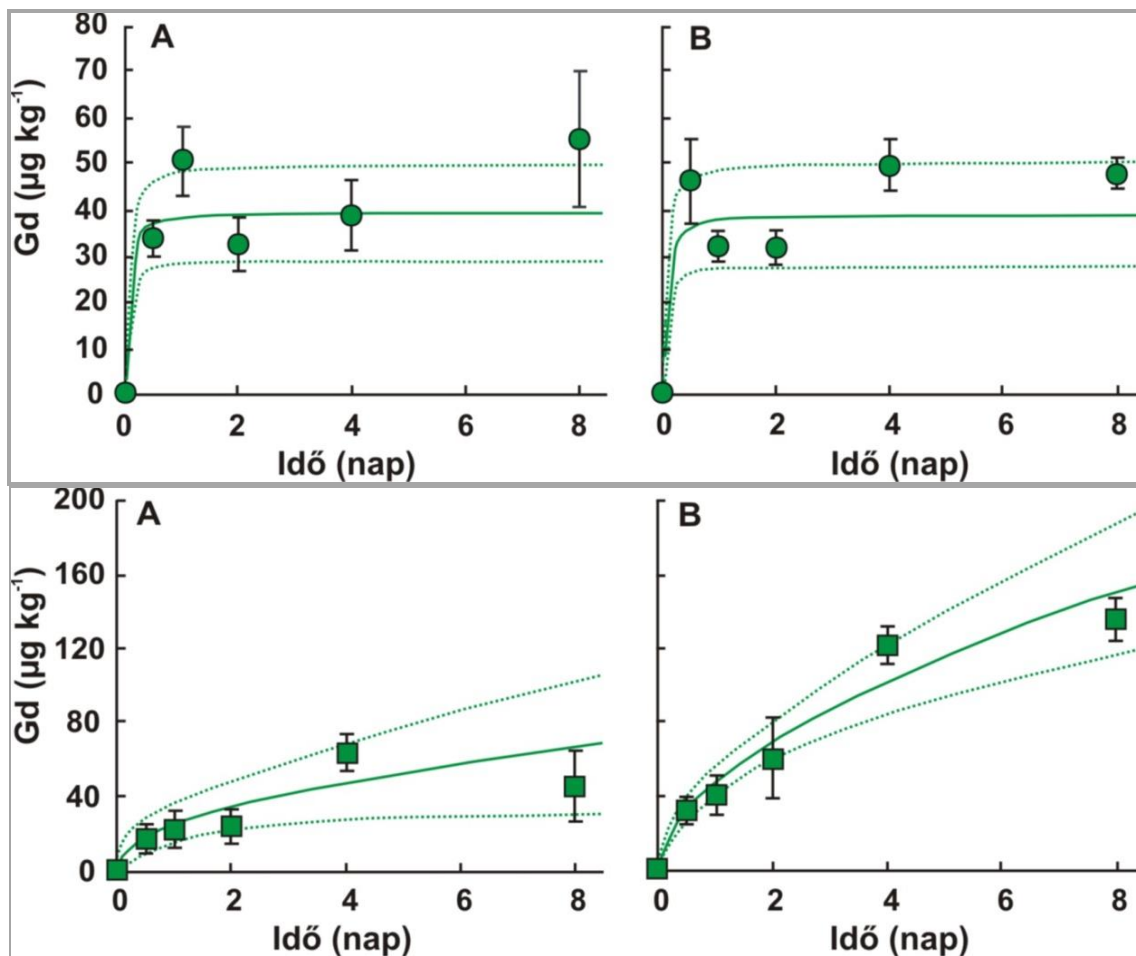
Makrofitonok Gd-felvétele

Vizsgálat hínárnövényekben az Omniscan szignifikánsan nagyobb ($P<0,001$) szöveti Gd-koncentrációt eredményezett, mint a Dotarem. A kísérlet végén a tócsagazban szignifikánsan ($P<0,001$) nagyobb volt a szöveti Gd-koncentráció, mint a púpos békalencsében. A kontrasztanyagok koncentrációja a békalencsék szövetében egy nap alatt, a tócsagazban pedig négy nap alatt elérte a maximumát. A tócsagazban az Omniscan kontrasztanyag kétszer nagyobb koncentrációban volt kimutatható, mint a Dotarem és a kísérlet végére háromszor nagyobb koncentrációt ért el a tócsagazban, mint a békalencsében (2. ábra).

A gadolínium kioldódása a hínárnövényekből

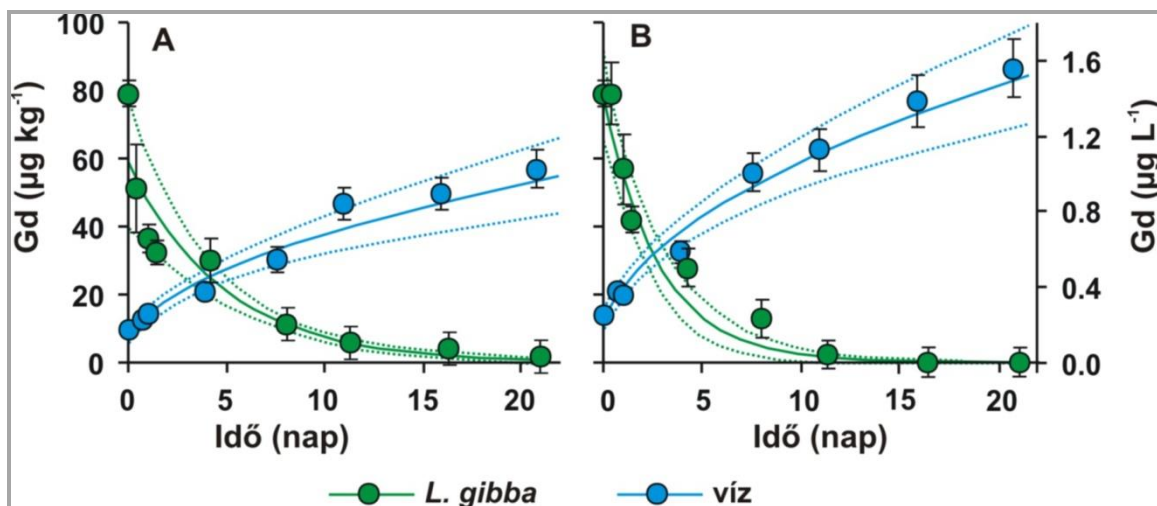
A tápoldat Gd-koncentrációja az idővel szignifikánsan ($P<0,001$, ANOVA) nőtt, Gd-tartalmú békalencsék jelenlétben. A Gd-kijutás a tápoldatba az Omniscan kontrasztanyagon nevelkedett békalencséből szignifikánsan ($P<0,001$, ANOVA) magasabb volt, mint a Dotarem-en tartott növényeké. A kísérlet 16. napján 52%-kal volt magasabb a tápoldat Gd-koncentrációja az Omniscan kontrasztanyag tartalmú békalencsék jelenlétében, a „Dotarem-es” békalencsékhez képest. A békalencsék szöveti gadolínium koncentrációjának csökkenése az Omniscan kontrasztanyagon nevelkedett békalencsék esetén szignifikánsan ($P<0,001$, ANOVA) magasabb volt, mint a Dotarem-en tartott növényeké. A kontrasztanyagok koncentrációja a békalencsék szövetében a felére csökkent, a nyílt láncú Omniscan esetén egy nap alatt, a makrociklusos Dotarem esetén pedig négy nap alatt (3. ábra).

A szakirodalomban eddig mindössze egyetlen tanulmány foglalkozik a vízinövények (*Lemna minor*) Gd-kontrasztanyag felvételének kinetikájával (Lingott és társai 2016). Bár ebben a vizsgálatban lézeralációs technikával volt kimutatva a szöveti Gd, ennek ellenére kísérleteinkkel megegyező módon itt is a növények már 24 órán belül telítődtek a tápoldatból felvett kontrasztanyagokkal. Mivel számos vizsgálat szerint a Gd-kontrasztanyagok az emberi szervezetből viszonylag gyorsan kiürülnek (Swan és társai 1999), így feltételezhető volt, hogy hasonlóan mobilisen viselkednek más szervezetekben is. Jelen vizsgálatunkban, a magas Gd-koncentrációjú békalencséből a Gd-komplexek egyenletesen visszajutottak a tápközegbe, ha a növényeket Gd-mentes tápoldatban neveltük tovább. A nyílt láncú ligandumot tartalmazó Gd-komplexek gyorsabban vándorolnak makrofitonok szövetébe és onnan vissza a közegbe, mint a makrociklusos ligandumot tartalmazók. Jelen vizsgálatunkban a szöveti Gd-kijutása a békalencséből a Gd-mentes tápoldatba jóval gyorsabban (felezési idő 1-4 nap) játszódott le, mint a makroelemeké (K, Ca, Mg, S, N; felezési idő 40-80 nap) a békalencsék dekompozíciója során (Szabó és társai 2000).



2. ábra. A *L. gibba* (felső panelek) és a *C. demersum* (alsó panelek) szöveti gadolínium koncentrációjának időbeli változása (Megjegyzés: A növények $256 \mu\text{g L}^{-1}$ Gd-koncentrációjú Dotarem (A), vagy Omniscan (B) kontrasztanyagot tartalmazó tápoldaton növekedtek. A hibásávok az eredmények szórásai, $n=3$)

Figure 2. Time dependent uptake of Gd by *L. gibba* (upper panels) and *C. demersum* (lower panels) (Note: Plants were grown on solutions containing $256 \mu\text{g L}^{-1}$ Gd as Dotarem(A) or Omniscan (B) GBCA. Error bars indicate the standard deviation of the data ($n=3$))



3. ábra. A púpos békalencsék (*L. gibba*) Gd-tartalmának időbeli kioldódása

(Megjegyzés: A növények Dotarem (A), vagy Omniscan (B) Gd-komplex tartalmú tápoldaton növekedtek, majd a 0. naptól pedig Gd-mentes tápoldaton. A zöld adatsor a békalencsék szöveti Gd-koncentrációját ($\mu\text{g kg}^{-1}$), a kék adatsor pedig a tápoldat Gd-koncentrációját ($\mu\text{g L}^{-1}$) ábrázolja. A hibásávok az eredmények szórásai, $n=3$)

Figure 3. Concentration change of Gd-treated Lemna growing on Gd-free medium and Gd concentration change of water. (Note: Lemna had been growing on $256 \mu\text{g L}^{-1}$ Gd containing GBCA (Dotarem A, Omniscan B) for 8 days, then cultivated on Gd free medium. Green lines show tissue Gd concentration, blue lines represent Gd concentration of the culture medium. Error bars indicate the standard deviation of the data ($n=3$)).

A vizsgált növényfajok egyikének sem volt szignifikáns hatása a tápoldat Gd-koncentrációjára. A tápoldat Gd-koncentrációjának emelésével viszont a békalencsék szöveti Gd-koncentrációja lineárisan növekedett, de nem érte el a tápoldat Gd-koncentrációját. Eredményeink alapján kijelenthetjük, hogy a vizsgált kontrasztanyagok gyorsan jutnak be a makrofítonokba és gyorsan távoznak onnan. A vízinövények egyik kontrasztanyagot sem akkumulálják, így úgy tűnik, hogy nem is okozhatják az antropogén gadolínium dúsulását a táplálékláncban.

IRODALOM

- Barko, J.W., Smart, R.M. (1985). Laboratory culture of submerged freshwater macrophytes on natural sediments. *Aquat. Bot.*, 21, 251-263.
- Bau, M., Dulski, P. (1996). Anthropogenic origin of positive gadolinium anomalies in river waters. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 143, 245-255.
- Du, X., Graedel, T.E. (2011). Global in-use stocks of the rare earth elements: a first estimate, *Environ. Sci. Technol.*, 45, 4096-4101.
- Kulaksiz, S., Bau, M. (2007). Contrasting behaviour of anthropogenic gadolinium and natural rare earth elements in estuaries and the gadolinium input into the North Sea. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 260, 361-371.
- Kulaksiz, S., Bau, M. (2011). Anthropogenic gadolinium as a microcontaminant in tap water used as drinking water in urban areas and megacities. *Appl. Geochem.*, 26, 1877-1885.
- Lingott, J., Lindner, U., Telgmann, L., Esteban-Fernández, D., Jakubowski, N., Panneab, U. (2016). Gadolinium-uptake by aquatic and terrestrial organisms-distribution determined by laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry. *Environ. Sci.: Processes Impacts*, 18, 200-207.
- Rabiet, M., Brissaud, F., Seidel, J.L., Pistre, S., Elbaz-Poulichet, F. (2009). Positive gadolinium anomalies in wastewater treatment plant effluents and aquatic environment in the Hérault watershed (South France). *Chemosphere*, 75, 1057-1064.
- Swan, S.K., Lambrecht, L.J., Townsend, R., Davies, B. E., McCloud, S., Parker, J. R., Bense, K., LaFrance, N. D. (1999). Safety and pharmacokinetic profile of gadobenate dimeglumine in subjects with renal impairment. *Invest Radiol*, 34, 443-448.
- Szabó, S., Braun, M., Nagy, T., Balázs, S., Reisinger, O. (2000). Decomposition of duckweed (*Lemna gibba*) under axenic and microbial conditions: flux of nutrients between litter water and sediment, the impact of leaching and microbial degradation. *Hydrobiologia*, 434, 201-210.
- Szabó, S., Roijackers, R.M.M., Scheffer, M. (2003). A simple method for analysing the effects of algae on the growth of *Lemna* and preventing the algal growth in duckweed bioassays. *Archiv für Hydrobiologie*, 157, 567-575.
- Szabó, S., Scheffer, M., Roijackers, R., Waluto, B., Braun, M., Nagy, P., Borics, G., Zambrano, L. (2010). Strong growth limitation of a floating plant (*Lemna gibba*) by submerged macrophyte (*Elodea nuttallii*) under laboratory conditions. *Freshwater Biology*, 55, 681-690.
- Tepe, N., Romero, M., Bau, M. (2014). High-technology metals as emerging contaminants: strong increase of anthropogenic gadolinium levels in tap water of Berlin, Germany, from 2009 to 2012. *Appl. Geochem.*, 45, 191-197.
- Zhu, Y., Hoshino, M., Yamada, H., Itoh, A., Haraguchi, H. (2004). Gadolinium anomaly in the distribution of rare earth elements observed for coastal seawater and river waters around Nagoya city. *Bull. Chem. Soc. Japan*, 77, 1835-1842.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönet az Emberi Erőforrások Minisztériumának, amely a kutatáshoz szükséges anyagi támogatást biztosította az Emberi Erőforrások Minisztériuma ÚNKP-17-2-I-NYE-2 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának keretében.

A SZERZŐK



ZAVANYI GYÖRGYI tanulmányait a Nyíregyházi Egyetemen folytatja biológia- kémia osztatlan tanár szakos hallgatóként. Kutatásaiban arra keresi a választ, hogy a kijutott antropogén gadolínium, milyen hatással van a vízinövények életére.

BRAUN MIHÁLY a Magyar Tudományos Akadémia Atommag Kutató Intézetének munkatársa. Kutatási területe az antropogén és természetes környezetváltozások hatásainak kimutatása tavak, lápok üledékének elemösszetétel vizsgálatával.

LACZOVICS ATTILA doktorjelölt a Debreceni Egyetem Idegtudományi Iskolájában. Munkája során in vivo és in vitro kísérleteket végez glioblastoma (négyes drádusú agydaganat) sejtvonallal, továbbá MRI kontrasztanyagból származó gadolínium szervezeten belüli felhalmozódását, a szervezetből történő kiürülését és ökotoxikus hatásait vizsgálja.

Dr SZABÓ SÁNDOR a Nyíregyházi Egyetem Környezettudományi Intézetének oktatója. Kutatásaiban kísérleti módszerekkel arra keresi a választ, hogy milyen folyamatok okozzák, hogy a vízinövények közötti versenyben egyik növénycsoport akár teljesen kiszorítja a másikat. A vizsgálatokat kontrolált fény és hőmérséklet viszonyok között végezi úszó emez és szubmerz hínárnövényeken.

***Ceriodaphnia rigaudi* (Richard 1894) – Új Cladocera faj megjelenése a hazai faunában**

Zsuga Katalin*, Tóth Flórián**, Kerepeczki Éva**, Berzi-Nagy László**

* AGRINT Kft. 2100 Gödöllő, Fácán sor 56.

** Nemzeti Agrárkutatási és Innovációs Központ, Halászati Kutatóintézet 5540, Szarvas, Anna-liget 8.

Kivonat

A NAIK Halászati Kutatóintézet szarvasi halastavaiban, 2015-ben egy hazai faunánkból eddig nem ismert Cladocera faj jelenlétét regisztráltuk. A *Ceriodaphnia rigaudi* (Richard, 1894) az irodalmi adatok alapján a trópusi, szubtrópusi övezetre jellemző faj. Földrajzi elterjedése az európai kontinensen eddig csak Spanyolországból van adat. A vizsgált tavakban júliusban a fiatal, valamint szubitán petés egyedek voltak jellemzőek, majd augusztus végétől a hímek is megjelentek. Szeptemberben a tartós petés egyedek aránya 10-20% volt a populációban. A 2017-ben megismételt vizsgálatok eredményei azt mutatják, hogy valószínűleg az utóbbi évek meleg időjárása biztosítja a populáció szaporodóképes állományának fennmaradását.

Kulcsszavak

Ceriodaphnia rigaudi, zooplankton, Cladocera összetétel.

***Ceriodaphnia rigaudi* (Richard 1894) – Presence of a new Cladocera species in the Hungarian fauna**

Abstract

In 2015 an unknown Cladocera species was detected from fishponds of National Agricultural Research and Innovation Centre, Research Institute for Fisheries and Aquaculture (Szarvas). *Ceriodaphnia rigaudi* is characteristic in the tropical and subtropical zone according to the data found in the literature. Regarding its geographical distribution in Europe, there were data only from Spain up to the present. In July the young specimens and females with subitaneous eggs prevailed in our sampled ponds, but in the end of August the males started to appear as well. In September the ratio of specimens with diapausing egg was 10-20% in the total population. The results of repeated investigations in 2017 suggest that the warm weather of the recent years made the survival and reproduction possible.

Keywords

Ceriodaphnia rigaudi, zooplankton, Cladocera composition.

BEVEZETÉS

A NAIK Halászati Kutatóintézet egy növényi eredetű takarmány összetevőket vizsgáló kísérletben résztvevő halastavainak zooplankton összetételét vizsgáltuk több éven keresztül (2013-2015) április-szeptember közötti időszakban Szarvason. A 2015. évi gyűjtések során egy hazai faunánkból eddig nem ismert Cladocera faj, a *Ceriodaphnia rigaudi* jelenlétét regisztráltuk (Zsuga 2016) valamennyi (9) vizsgált mintavételi helyről.

Az irodalmi adatok szerint a *Ceriodaphnia rigaudi* a melegebb, trópusi, szubtrópusi övezet zooplankton közösségének tagja. Biswas (1971) munkája szerint Indiában széles körben elterjedt faj, egyéb területként Dél- és Kelet-Ázsiát, Japánt, Palesztinát, Egyiptomot, Dél-Afrikát és Dél-Amerikát jelöli meg. Sok publikáció jelent meg Brazília különböző típusú élőhelyein való előfordulásáról, így tavakban (Pedrozo és Rocha 2005, Mortari és Henry 2016), tározókban (Leitao és társai 2006, Castillo-Noll és társai 2010), folyóvizekben (Lucena és társai 2015, Paranaguá és társai 2005). Dél-Irak területéről Ajeel és Abbas (2012), Abbas és társai (2015) közölnek adatokat. Aung és Zin (2014) Közép-Myanmarban a Meikila tavat tanulmányozták, ahol adataik szerint a *Ceriodaphnia rigaudi* a zooplankton közösség gyakori tagja. Martinez-Jeronimo és Ventura-Lopez (2011) vizsgálatai szerint a faj populációdinamikáját a hőmérséklet és a táplálékösszetétel nagymértékben befolyásolja. Európából spanyolországi előfordulásáról Alonso (1996)

közöl adatot. A Fauna Europaea <https://fauna-eu.org/>, valamint Blédzki és Rybak (2016) munkája Alonso publikációjára hivatkozva szintén csak Spanyolországot jelöli meg a *Ceriodaphnia rigaudi* európai elterjedéseként.

ANYAG ÉS MÓDSZER

A NAIK Halászati Kutatóintézet takarmányozási kísérletben résztvevő halastavainak (saját nevelésű ponty monokultúrák tavak) zooplankton összetételét 2013-2015 között vizsgáltuk április-szeptember közötti időszakban Szarvason. A gyűjtés során 50 µm szembőségű planktonhálósával 50-100 liter vizet szűrtünk át, a mintákat a helyszínen formalinnal 4 %-os végkoncentrációra tartósítottuk. 2016-ban a takarmányozási kísérletek befejeződtek, zooplankton vizsgálatra nem került sor. A tavak egy része a 2016-2017 téli időszakban szárazon volt, csak 2017 tavaszán került sor újbóli feltöltésükre. A vizsgálatokat 2017-ben június-szeptember között megismételtük, adatainkat a feltöltő vízként funkcionáló Kákafoki Holt-Körösből vett mintával is kiegészítettük.

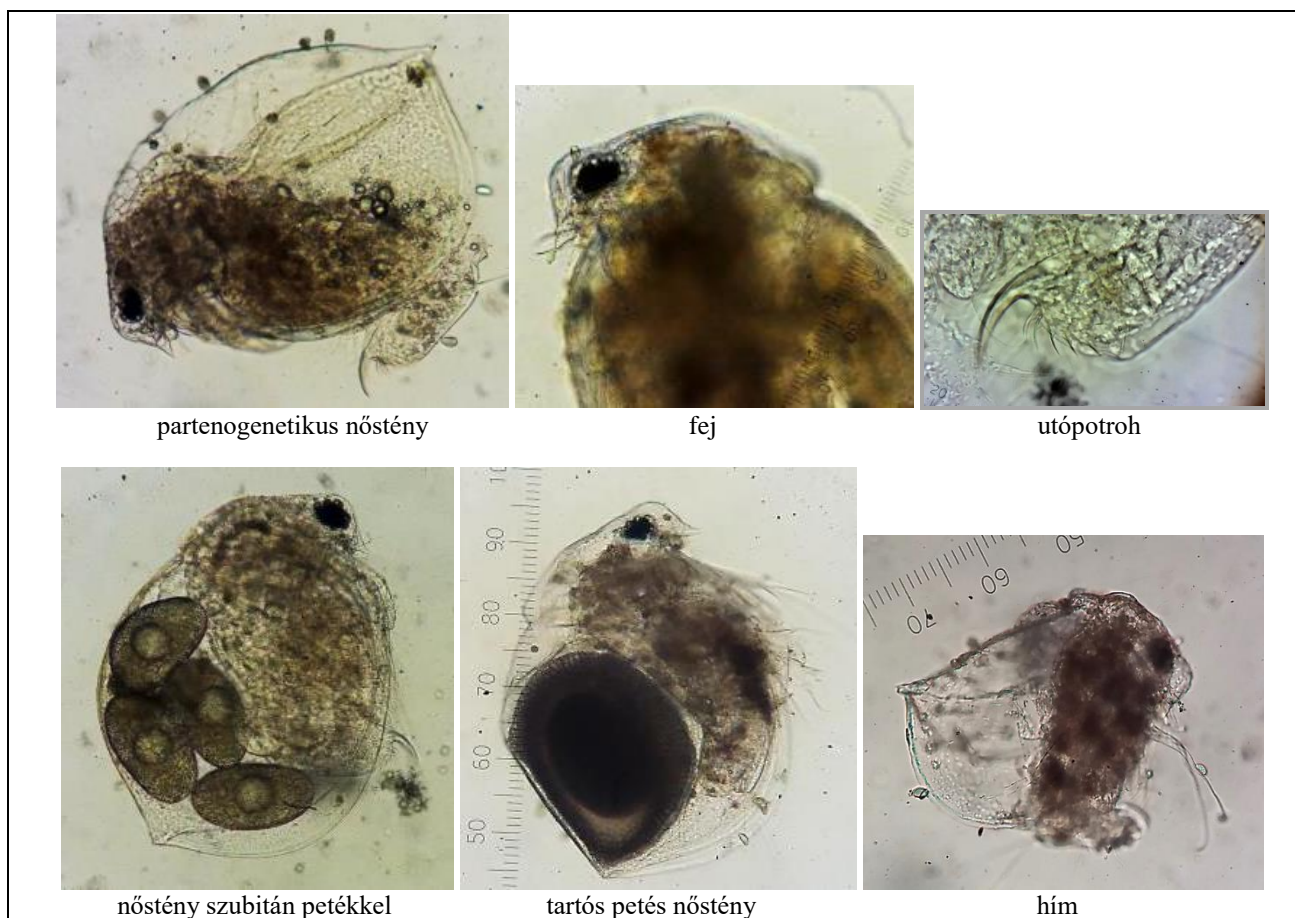
EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELES

A *Ceriodaphnia rigaudi* előfordulását először 2015 júliusában regisztráltuk, az ezt megelőző években Györe (2014) és Zsuga (2015) vizsgálati adatai szerint nem volt jelen a tavakban.

A 400-450 µm hosszúságú nőstények héja finoman sokszögletű mezőkkel mintás, hátsó felső vége rövid hegyes csücsökben végződik. Fején jellegzetes éles, csőrszerű rost-

rum található. Az utópotroh vége ferdén le metszett, rajta 4-6, a test vége felé növekvő tüske található, a végkarom sima. A szubitán petés nőstények költőüregében kevés számú, de

nagyméretű pete található. Az efüppiumban egy tartós pete van. A hímek háta egyenes, a héjon lévő csücsök hátrafelé irányul. Méretük valamivel kisebb a nőstényekétől (1. kép).

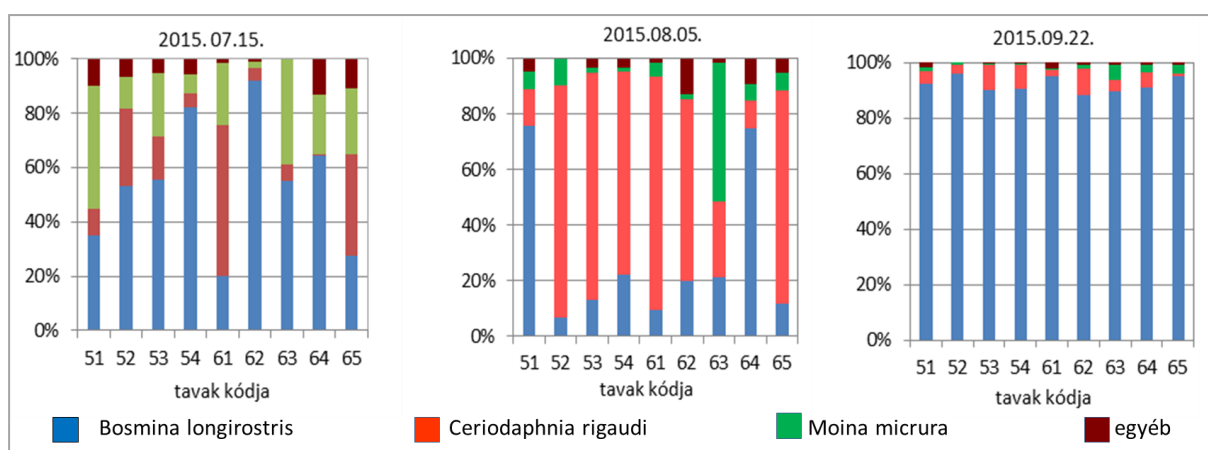


1. kép. *Ceriodaphnia rigaudi* morfológiai jellemzői

Photo 1. Morphological characteristics of *Ceriodaphnia rigaudi*

A 2015. évi vizsgálat során április-június között még nem találtuk meg a fajt a planktonban, a kifejlett egyedek csak a nyári meleg időszakától kezdődően jelentek meg. Népeségma-

ximumát augusztusban érte el, ekkor a *Cladocera* közösség domináns csoportját alkotta. Szeptemberben az egyedszáma csökkent, helyét a *Bosmina longirostris* vette át (1. ábra).

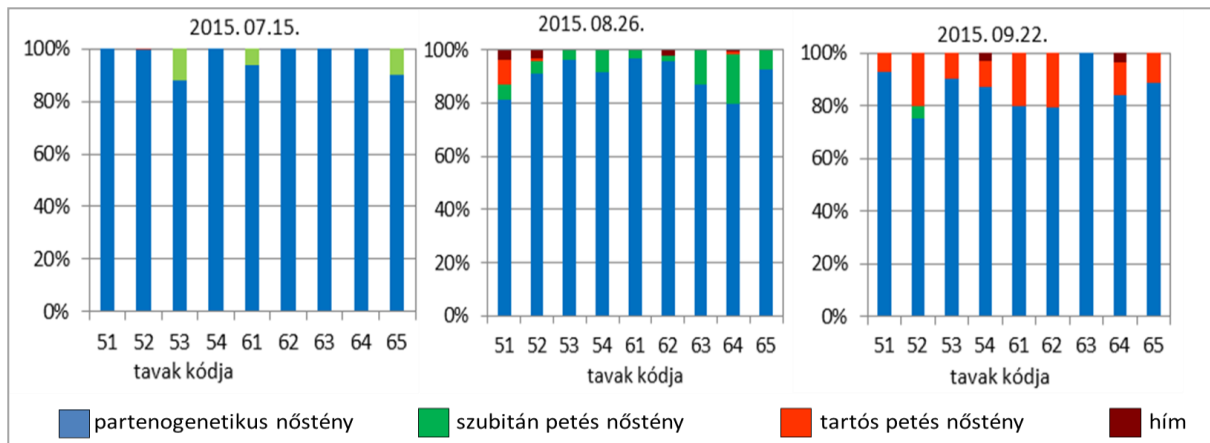


1. ábra. A *Cladocera* közösségben előforduló taxonómiai csoportok %-os aránya

Figure 1. Ratio of the cladoceran taxa

A *Ceriodaphnia rigaudi* populációban júliusban a fiatal partenogenetikus egyedek aránya a számottevő, valamint 5-10 %-ban szubitán petés nőstények (2. ábra) is jelen vannak. Ezekből a *Cladocera* csoportra jellemző szűznemzéssel történő szaporodás során több generáción keresztül szintén partenogenetikus nőstények kelnek ki.

Augusztus végétől jelentek meg a hímek, s a kétivaros szaporodás révén a megtermékenyített tartós petés egyedek aránya szeptemberben 10-20 %-ot tesz ki. Az efüppiumba zárt tartós pete biztosítja a faj túlélését, a kedvezőtlen körülmények nyugalmi szakaszban történő átvészelését.



2. ábra. A *Ceriodaphnia rigaudi* populáció %-os összetétele
Figure 2. Percentile composition of the *Ceriodaphnia rigaudi* population

Mivel a *Ceriodaphnia rigaudi* hazánkban idegenhonos fajnak tekinthető, és 2016-ban nem volt zooplankton vizsgálat, így 2017-ben a gyűjtéseket június-szeptember között megismételtük. Célunk volt annak megállapítása, hogy a faj képes-e a mérsékelt éghajlati téli időszakot átvészelné, s továbbra is megtalálható-e a vizsgált tavakban. Kiegészítésképpen a feltöltő vízként funkcionáló Kákafoki Holt-Köröséből is vettünk mintát.

A megismételt vizsgálatok során az 50-es jelzésű tavakban a 2015-ös évhez hasonló eredményeket kaptunk, s a populációban továbbra is mind a négy fejlődési forma megtalálható. A 60-as jelzésű tavakban azonban, amelyek a 2016-2017-es téli időszakban szárazon voltak, nem találtunk *Ceriodaphnia rigaudi* egyedeket. A feltöltő vízként funkcionáló Kákafoki Holt-Körösben a faj szintén nem volt jelen.

Az eredmények azt mutatják, hogy valószínűleg az utóbbi évek időjárása (enyhe tél, meleg nyár) biztosítja a faj szaporodóképes állományának fennmaradását mérsékelt éghajlati viszonyok között is. Ugyanakkor a hosszan tartó száraz, hideg időszakot feltehetően még tartóspetés állapotban sem képesek elviselni. Eredményeinkkel új adatokat szolgáltatunk a faj európai elterjedéséhez és ökológiai igényeinek ismeretéhez. A faj valószínűleg vándorló madarak általi terjesztéssel került a tavakba, mivel a feltöltő vízben nem található, s a Halászati Kutatóintézet kapott információink szerint feltehetően sem az ellenőrzött saját nevelésű halállománnyal, sem az ellenőrzött minőségű takarmánnyal nem juthatott a tavakba.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A 2013-2015. évi kutatás az ARRANA EU FP7 projekt (No: 288925) támogatásával valósult meg. Köszönetünket fejezzük ki Dr. Forró Lászlónak (Magyar Természettudományi Múzeum Állattár) a határozásban nyújtott segítségért.

IRODALOMJEGYZÉK

Abbas, M.F., Salman, S.D., Al-Mayahy, S.H. (2015). Diversity and seasonal changes of zooplankton communities in the Shatt Al-Arab River, Basrah, Iraq, with a special reference to Cladocera. *Int. Journal of Marine Science* 5(24): 1-14.

Ajeel, S.G., Abbas, M.F. (2012). Diversity of Cladocera of the Shatt Al-Arab River, Southern Iraq. *Mesopot. Journal Marine Science* 27(2): 126-139.

Alonso M. (1996). Fauna Ibérica. Vol.7. Crustacea. Branchiopoda. Museo Nacional de Ciencias Naturales. CSIC, Madrid, Spain.

Aung, T.T., Zin, T. (2014). Zooplankton community in Meiktila Lake, Meiktila, Central Myanmar. *Universities Research Journal* Vol. 7: 1-11.

Biswas, S. (1971). Fauna of Rajasthan, India, Part II. Crustacea: Cladocera. *Rec. Zool. Surv. India*, 63 (1-4).

Błędzki L. A., Rybak J. I. (2016). Freshwater Crustacean Zooplankton of Europe (Cladocera and Copepoda). Springer. p. 918.

Castillo-Noll, M.S., Camara, C.F., Chicone, M.F., Shibata, É.H. (2010). Pelagic and littoral cladocerans (Crustacea, Anomopoda and Ctenopoda) from reservoirs of the Northwest of São Paulo State, Brazil. *Biota Neotrop.* Vol 10. No 1. 21-30.

Györe, K. (2014). ARRANA GOP harcsa és WETLAND projektek zooplankton mintáinak analízise (zárójelentés) Szarvas. p.40.

Leitao, A.C., Rocha, R.H.F., Santaella, S.T. (2006). Zooplankton community composition of two Brazilian semiarid reservoirs. *Acta Limnol. Brasiliensia*, 18(4):451-468.

Lucena, L.C.A., Xavier de Melo, T., Medeiros, E.S.F. (2015). Zooplankton community of Parnaíba River, Northeastern Brazil. *Acta Limnol. Brasiliensia*, 27(1): 118-129.

Martinez-Jeronimo, F., Ventura-Lopez, C. (2011). Population dynamics of the tropical cladoceran *Ceriodaphnia rigaudi* Richard, 1894 (Crustacea: Anomopoda). Effect of food type and temperature. *Journal of Environ. Biol.* 32(4):513-521.

Mortari, C.R., Henry, R. (2016). Horizontal distribution of Cladocera in a subtropical lake marginal to a river. *Journal Limnol.* 75(1): 109-120.

Paranaguá, M.N., Nemann-Leitão, S., Nogueira-Paranhos, J.D., Silva, T.A., Matsumura-Tundisi, T.

(2005). Cladocerans (Branchiopoda) of a tropical estuary in Brazil. – Braz. J. Biol. 65(1): 107-115.

Pedrozo, C. DA S., Rocha, O. (2005). Zooplankton and water quality of lakes of the Northern Coast of Rio Grande do Sul State, Brazil. Acta Limnol. Brasiliensia, 17(4): 445-464.

Zsuga, K. (2015). Zooplankton állomány kvalitatív és kvantitatív összetételének vizsgálata különböző ere-

detű takarmányokkal etetett halastavak esetén. Kutatási jelentés. Gödöllő. p. 24.

Zsuga, K. (2016). Zooplankton állomány kvalitatív és kvantitatív összetételének vizsgálata különböző eredetű takarmányokkal etetett halastavak esetén. Kutatási jelentés. Gödöllő. p.30.

Internetes hivatkozás: https://fauna-eu.org/cdm_data-portal/search/results/taxon?ws=portal%2Ftaxon%2Ffind&query=ceriodaphnia+rigaudi

A SZERZŐK



ZSUGA KATALIN biológus, környezetvédelmi szakmérnök. 1982-ben egyetemi doktori, 1999-ben PhD fokozatot szerzett. 2003 óta a Szent István Egyetem címzetes egyetemi docense. Kutatási területe folyó- és állóvizek ökológiai állapota, zooplankton közösségek vizsgálata. A Magyar Hidrológiai Társaság tagja, a Környezetvédelmi Szakosztály vezetőségi tagja.

TÓTH FLÓRIÁN 2014-ben biológusként (MSc) végzett a Szegedi Tudományegyetemen. 2014 óta az FM által indított NAIK Kutatói utánpótlást elősegítő program 2-ben fiatal kutatói státuszban vesz részt. PhD tanulmányait 2015-ben kezdte meg az SZTE Környezettudományi Doktori Iskolájában zooplankton közösségek vizsgálatának témájában. 2014- és 2015 között intézeti mérnökként, illetve 2015-től tudományos segédmunkatársként végez munkát a NAIK Halászati Kutatóintézetében.

KEREPECZKI ÉVA 1998-ban ökológus ágazatú biológusként végzett a József Attila Tudományegyetemen. 2006-ban doktori fokozatot szerzett (PhD) környezeti tudományokból a Debreceni Egyetemen. 1999-től a Haltenyésztési Kutatóintézetben, majd későbbi nevén a Halászati és Öntözési Kutatóintézetben tudományos segédmunkatárs, tudományos munkatárs, majd tudományos főmunkatársként végez tudományos munkát.

BERZI-NAGY LÁSZLÓ 2011-ben biotikus szakirányú hidrobiológus (MSc) fokozatot szerzett a Debreceni Egyetemen. 2011-ben megkezdte tanulmányait a Debreceni Egyetem Juhász-Nagy Pál Doktori Iskola hallgatójaként. 2014-től a Nemzeti Agrárkutatási és Innovációs Központ (NAIK) Halászati Kutatóintézetének alkalmazottja, tudományos segédmunkatársi státuszban.

Beszámoló

Prof. Dr. Bíró Péter akadémikus, a Magyar Hidrológiai Társaság Limnológiai Szakosztályának elnöke és Dr. Tóth Viktor a Limnológiai Szakosztály titkára beszámolót készített a szakosztály 2014-2017 közötti tevékenységéről, melyet *A hidrobiológia helye a víztudományokban* címmel 2017. október 4-6. között megtartott LIX. Hidrobiológus Napok rendezvényén ismertették Dr. Bíró Péter.

Mielőtt az elmúlt időszak értékelésébe kezdenék, szeretném megköszönni a tagságnak a folyamatos támogatását, a szakosztály titkárnak és a vezetőség tagjainak kitartó aktivitását, az MHT Titkárságának gondos ügyintézését.

Az 1949-ben önállóvá vált Magyar Hidrológiai Társaság (MHT) egyik első szervezeti egysége a Limnológiai Szakosztály volt, *Maucha Rezső*, majd *Sebestyén Olga* elnökségével. A Hidrobiológus Napok története 2018-ban immár 60 évre tekint vissza: *Wojnarovich Elek* felhívása nyomán az első tudományos tanácskozást 1957. szeptember 15-én *Tihanyban* rendezték meg, az intézet 30 éves fennállása alkalmából. Ennek indokát a hazai hidrobiológiai kutatások nemzetközileg is elismert eredményei és a megoldandó feladatok jelentették. A tudományos fórum helye is magáért beszél, hiszen Tihanyban 1927-óta működik a gróf *Klebsberg Kunó* vallás- és közoktatási miniszter alapította Biológiai Kutatóintézet (1982-től Magyar Tudományos Akadémia (MTA) Balatoni Limnológiai Kutatóintézete, 2012-től MTA Ökológiai Kutatóközpont, Balatoni Limnológiai Intézet), amely kezdettől fogva helyet adott a hazai tó kutatásnak. A Hidrobiológus Napokat kezdetektől fogva az MHT Limnológiai Szakosztálya szervezi az otthont adó MTA ÖK Balatoni Limnológiai Kutatóintézetével (Tihany), és 1989-től, az MTA Veszprémi Területi Bizottságával (VEAB) közösen. Különösen fontosnak tartjuk a Hidrológiai Közöny múlt évtizedben megjelent azonos című, amelyek a Hidrobiológus Napok során elhangzott, illetve bemutatott poszterek anyagait tartalmazták.

A Nemzetközi Limnológiai Szövetség (SIL) XXXII. Kongresszusának szervezésében és sikeres lebonyolításában (Budapest, 2013. augusztus 4-9.) az MHT Limnológiai Szakosztálya társrendezőként szerepelt. Az esemény jelentős, nemzetközi elismerésben részesült.

A Magyar Hidrológiai Társaság centenáriuma nyújtottuk át az olvasóközönségnek a Hidrobiológus Napok eddigi történetét (1957-2016), melyet az MTA ÖK Balatoni Limnológiai Intézete (Tihany) alapításának (1926) és megnyitásának (1927) kilencvenedik évfordulójára ajánlottuk.

A Magyar Hidrológiai Társaság Limnológiai Szakosztálya 2014 januárjában tartott tisztújító közgyűlésén a következő négy évre (2014-2017) választotta meg új vezetőségét. A szavazás eredményeként a Szakosztály elnöki tisztét továbbra is *Bíró Péter* (1991-től), a titkári teendőket *Tóth Viktor* látták el. A megújult vezetőség tagjai: *Reskóné Nagy Mária*, *Ács Éva*, *Kiss Keve Tihamér*, *Nagy Sándor Alex*, *Présing Máttyás*, *Teszárné Nagy Mariann*, *Borsodi Andrea*, *Engloner Attila*, *Borics Gábor* és

Vasas Gábor voltak. Áldozatos munkájukért az elnökség tagjait köszönet illeti. *Reskóné Nagy Máriának* és *Tóth Viktornak* külön, kiemelt köszönetet mondok titkárként végzett rendkívül precíz és hatékony munkájukért, s ennek a beszámolóhoz az összeállításáért. *Présing Máttyást* váratlanul veszítettük el.

A LIMNOLÓGIAI SZAKOSZTÁLY TAGLÉTSZÁMA 2000-2017 KÖZÖTT

A tagság nyilvántartása a MHT Titkárságán számítógép segítségével történik. A személyi változások, befizetések nyilvántartása szerint a 2000-től kezdődően a Szakosztály taglétszáma öröndetesen nőtt (*1. táblázat*). 17 fő tagsága szűnt meg tagdíj fizetés elmaradása miatt. A befizetett tagdíj mértéke nőtt, de a tagdíj fizetés elmaradása keveset változott a ciklus végére.

1. táblázat. A Limnológiai Szakosztály taglétszáma 2007-2014 között

Év	Regisztrált taglétszám	Tagdíj-mentes	Nyugdíjas	Ifjúsági	Rendes
2000	100	4	9	10	
2001	107	4	9	17	
2002	114	5	9	20	
2003	98	10	2	5	
2004	104	10	4	4	
2005	106	12	5	5	
2006	115	12	7	11	
2007	108	5	11	7	85
2008	121	2	21	7	90
2009	156	15	25	12	104
2010	161	18	27	17	99
2011	156	24	17	14	100
2012	163	21	16	18	107
2013	176	21	16	23	114
2014	174	19	8	36	110
2015	167				
2016	169				
2017	155				

Sajnos, a kimutatásokban több elhunyt kollégát is nyilvántartanak, s ezért a tagnévsort javítani kell.

A Szakosztály tevékenysége változatlanul a hazai hidrobiológia tudományának ápolása, különböző iskolákban dolgozó kutatók, oktatók és gyakorlati szakemberek tevékenységének az általános környezet- és természetvédelmi feladatokkal való összehangolása. Évenkénti szakmai fórumok szervezésével segíti a tudományos alapismeretek és azok gyakorlati alkalmazásának terjedését, és lehetőséget nyújt az országon kívüli szakmai eredmények megismerésére. A Szakosztály megkülönböztetett figyelemmel szervezte az éves nagyrendezvényeket és az évközi kihelyezett előadó üléseket, ahol a tagság növekvő elfoglaltsága ellenére mindig kellő számú érdeklődő volt jelen. A nagyrendezvényeken évente 40-50, különböző

szakmai területen dolgozó, hidrobiológiával foglalkozó szakember mutatta be tevékenységét. Az előadások vagy poszterek teljes anyaga, immár hagyományyszerűen, citálható formában, a megújult Hidrológiai Közlöny külön-számaként jelenik meg. Mindezek mellett a Szakosztály tagjai számos más tudományos testületben is tevékenykednek, rendszeresen vesznek részt hazai, ill. nemzetközi rendezvényeken. Köztük egyre népszerűbb az MHT Ifjúsági Napok, ahol a Szakosztály fiataljai is képviseltetik magukat.

A Szakosztály tevékenységének meghatározására, koordinálására a vezetőség évente két alkalommal ült össze, ahol áttekintette és értékelte a megelőző időszak munkáját, megvitatta és felosztotta az aktuális szervezési feladatokat és összeállította éves munkatervét, amit rendszerint a Hidrobiológus Napokon ismertetett. A Szakosztály eredményes munkájának fenntartásához a munkatervet a vezetőség mindig az általános érdeklődés középpontjában álló, új szemléletek felé nyitott, és a ténylegesen megoldásra váró, aktuális kérdések és feladatok figyelembevételével állította össze. A Magyar Hidrológiai Társaság rendezvényein előadásokkal vett részt.

NAGYRENDEZVÉNYEK

A Limnológiai Szakosztály fő tevékenysége a szakmai rendezvények szervezésére épül. Kiemelkedő jelentőséggel bír az 1957-óta évenként megtartott tihanyi Hidrobiológus Napok, amit az MTA ÖK Balatoni Limnológiai Kutatóintézet és az MTA Veszprémi Területi Bizottságával közösen rendez meg minden év októberének első hetében.

2. táblázat. A Hidrobiológus Napokra bejelentett előadások és poszterek száma, és a publikált cikkek száma

Év	Szóbeli előadás	Poszter előadás	Publikáció Hirdrológiai Közlöny 2011-2014
2007 / 2011	39/32	54/26	37
2008 / 2012	37 / 40	53 / 40	29
2009 / 2013	29/ 29	38 / 45	38
2014	38	28	32
2015	28	18	24
2016	26	8	12
2017	35	6	19

A Hidrobiológus Napok központi témái

LVI. Hidrobiológus Napok, Tihany, 2014. október 1-3.

A rendezvény témája: „A hidrobiológiai kutatások eredményei és gyakorlati hasznuk”. Felkért előadások: Engloner Attila: „Bővülő folyókutatás a bővülő Duna-kutató Intézetben”, és Lukács Balázs András, Boda Pál, Várbíró Gábor, Lengyel Szabolcs, Borics Gábor: „A Tisza hidroökológiai kutatásának múltja és lehetőségei napjainkban”.

LVII. Hidrobiológus Napok, Tihany, 2015. október 7-9.

2015-ben a Magyar Hidrológiai Társaság Limnológiai Szakosztálya az 57. alkalommal rendezte meg a háromnapos rendezvényt Tihanyban, az MTA ÖK Balatoni Limnológiai Intézetében, amelynek a központi témája: „Genetikai és molekuláris-biológiai kutatások jelentősége a hidrobiológiában”, ami 74 regisztrált résztvevőt vonzott Tihanyba. Az egyik plenáris előadást Márialigeti Károly, az ELTE egyetemi tanára tartotta a mikrobiális

taxonómia és filogenetika területéről. A második nap plenáris előadását Kovács Balázs, a Szent István Egyetem tudományos főmunkatársa tartotta a hazai halfajok populációin eddig elvégzett molekuláris genetikai vizsgálatokról, valamint a balatoni busaállomány populációgenetikai vizsgálatának eddigi eredményeiről. A plenáris előadásokon túl, hallható volt további 28 előadás és 18 poszter bemutató.

2015-ben a támogatóink révén több különdíjjal vártuk a résztvevőket. Az Aranypony Halászati Zrt. pénzügyi támogatásában „A tógazdasági gyakorlatban legjobban hasznosítható tanulmány elkészítéséért” Berzi-Nagy László részesült az „Előzetes eredmények a halastavak üledék- és vízminőségi paramétereinek változásairól különböző takarmányok alkalmazása mellett” előadásáért.

Az Aranypony Halászati Zrt. ajándékát „A természetes vízi erőforrások jobb megismerése és hasznosításuk optimalizálása” témában Kati Sára nyerte a „Versenyhelyzet az invazív amurgéb (*Perccottus glenii* Dybowski, 1877) és az őshonos lápi póc (*Umbra krameri* Walbaum, 1792) között” előadásával.

Tihany Község Önkormányzata díjat alapított a „Balaton kutatásban elért kiemelkedő eredményekért” címmel, amit ebben az évben Vitál Zoltán előadása nyerte a „A busaállomány helyzete és ökológiai szerepe a Balatonban” előadásával.

A Magyar Hidrológiai Társaság Limnológiai Szakosztályának különdíját (SIL kongresszus regisztráció és 3 év SIL tagság) Nyeste Krisztián előadása nyerte a „Fémakkumuláció vizsgálata a Szamos hazai szakaszán élő eltérő táplálkozású halfajok egygyaras (0+) ivadékaiban” címmel.

LVIII. Hidrobiológus Napok, Tihany, 2016. október 5-7.

2016-ban a Magyar Hidrológiai Társaság Limnológiai Szakosztálya 58. alkalommal rendezte meg a rendezvényt: „Hosszú távú hidrobiológiai kutatások a Kárpát-medencében” címmel az MTA ÖK Balatoni Limnológiai Intézetében. A rendezvényt a Magyar Hidrológiai Társaság Limnológiai Szakosztálya, az MTA ÖK Balatoni Limnológiai Intézete és az MTA Veszprémi Területi Bizottsága (VEAB) közösen szervezte. A rendezvény kapcsolódott a Magyar Hidrológiai Társaság centenáriumi ünnepségeihez és az MHT elnökének, Szilágyi Lajos jelenlétében és hozzászólásával kezdődött. Ezt követően a Bíró Péter, a MHT Limnológiai Szakosztályának elnöke tartott megemlékezést a Hidrobiológus Napok történetéről, illetve a témakiíráshoz kapcsolódóan a következő plenáris előadások hangzottak el a Balaton, a Duna és a Tisza kutatás hosszútávú, évszázados-évtizedes adatsoraihoz kapcsolódóan:

Vörös Lajos: „A Balatoni fitoplankton ötven éve (1965-2015)”

Grigorszky István, Abonyi András, Ács Éva, Dobosy Péter, Duleba Mónika, Hidas András, Kiss Keve Tihamér: „A Duna fitoplanktonjának hosszútávú változása”

Borics Gábor, Boda Pál, Várbíró Gábor, Lukács Balázs: „A Tisza és vízgyűjtője hosszú távú kutatásának eredményei és jövőbeli kilátásai”.

A rendezvényen ezen kívül további 26 előadás és 8 poszter-előadás anyaga került bemutatásra a 64 résztvevő számára. A rendezvényen most is díjazták az előadókat.

A Nemzeti Kulturális Alap legjobb előadás díját *Márton Zsuzsanna* (ELTE) nyerte „*Kazahsztáni sós tavak ismeretlen prokarióta közösségei*” előadásával.

A Nemzeti Kulturális Alap legjobb poszter díját *Csirtári Bianka* (ELTE) nyerte „*Nitrogéntartalmú vegyületek bakteriális átalakulásainak megismerése szikes tavainkban*” poszterével.

A fiatal hidrobiológusok is kaptak díjakat, így Tihany Község Önkormányzat különdíját a „*Balaton kutatásban elért kiemelkedő eredményekért*” *Simon Brigitta* (Pannon Egyetem, Georgikon Kar) nyerte „*A nád lebontási ütemének vizsgálata a Balaton és a Kis-Balaton területén*” előadásával.

Az Aranypony Halászati Zrt. „*A tavi ökoszisztémára is hatással lévő, felmelegedéssel kapcsolatos vizsgálata*” díját *Mucza Orsolya* (Debreceni Egyetem) nyerte „*Hasznosítási formák összehasonlítása a Felső-Tisza Vidék holtmedreiben a Cladocera fajösszetétel alapján*” előadásával.

LIX. Hidrobiológus Napok, Tihany, 2017. október 4-6. „A hidrobiológia helye a víztudományokban”

Ezzel a címmel szerveztük meg a LIX. Hidrobiológus Napokat 2017. október 4-6 között az MTA ÖK Balatoni Limnológiai Intézetében. A rendezvényt az MTA ÖK Balatoni Limnológiai Intézete, a Magyar Hidrológiai Társaság Limnológiai Szakosztálya, és az MTA Veszprémi Területi Bizottsága (VEAB) közösen szervezte.

A témakiírásához kapcsolódóan plenáris előadások hangzottak el az MTA ÖK Víztudományi Koordinációs Csoport szakmai irányításáért felelős kutatóitól.

Józsa János, az MTA levelező tagja, hidrológus: „*Tavi áramlások és elkeveredések: hol tartunk a részletgazdagság leírásában?*”

Bozó László, az MTA rendes tagja, meteorológus: „*A víz szerepe a légköri folyamatokban.*”

A rendezvényen ezen kívül további 35 előadás és 6 poszter-előadás anyaga került bemutatásra a 62 résztvevő számára. A rendezvényen most is díjazták az előadókat.

Az Aranypony Kft. különdíját *Körmendi Kitti* Pannon Egyetem munkatársa nyerte „*Kovaalga fajok trait- és guild-alapú vizsgálatának szerepe kis szikes tavak ökológiai állapotfelmérésében*” című előadásával.

Tihany Község Önkormányzat különdíját balatoni témájú előadásokhoz *Boross Nóra*, MTA ÖK Balatoni Limnológiai Intézet munkatársa kapta „*Szűzgalandféreg (Ligula intestinalis) fertőzés hatása a balatoni folyami gébek (Neogobius fluviatilis) kondíciójára*” előadásáért.

A Nemzeti Kulturális Alap legjobb poszterért járó díját a Debreceni Egyetem, Hidrobiológia Tanszék munkatársa *Szanyi Kálmán* nyerte „*Első adatok a Nagydobronyi Vadvédelmi Rezervátum tegzes (Trichoptera) faunájáról*” poszterével.

A BME Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék hallgatója *Fleit Gábor* nyerte a Nemzeti Kulturális Alap legjobb előadásért járó díját „*Hajók keltette hullámmás hatásának feltárása terepi mérési és számítógépes modellezési eszközökkel a littorális zónában*” előadásával.

Köszönet illeti *Teszárné Nagy Mariannt*, a Belügyminisztériumnál tett közbenjárásáért, a főhatóság három fő részére biztosította a 2017. évi Hidrobiológus Napokon való részvételét.

LX. Hidrobiológus Napok, Tihany, 2018. október (előkészületben, meghirdetve)

A Hidrobiológus Napok témakörének kiválasztása az adott évek aktualitásait követte. A központi témákon belül egy-egy kérdéskör mélyebb kibontásához felkért előadókat hívtunk. A szóbeli előadások mellett igen népszerűvé vált poszter szekció – a rendezvény szűk időkeretei között – számos további érdekes téma bemutatására nyújt lehetőséget. 2003-tól a 35 év alatti szerzők munkái közül a kiállított poszterek tartalma, külalakja, plakátszerű megjelenítése alapján született javaslat szerint két „*Legjobb poszter*” kiválasztásával díjat adtunk ki. 2007-től bevezettük a „*legjobb fiatal előadókra*” való szavazást is. A díjazottakat oklevéllel jutalmaztuk, ami mellé egy-egy kiváló könyv vagy egyéb értékes jutalom (pénzdíj) is társult. Általánosan elmondható, hogy az előadások színvonala jó volt, témáit tekintve minden szakterület képviseltette magát. A vizek állapotáról, a bennük élő vagy a vizekkel kapcsolatban álló szervezetek sokaságáról, előfordulásuk sokféleségéről, mérési, minősítési lehetőségekről, ökotoxikus hatásokról, változások dinamikájáról stb. hallhattunk előadásokat. Köszönjük *Tószoki Imrének*, Tihany polgármesterének, és *Lévai Ferenc* elnöke vezérigazgató úrnak, az Aranypony Zrt. tulajdonosának jelentős anyagi hozzájárulásukat (2013-2017). *Tóth Viktor* érdeme a Kulturális Alapítványhoz benyújtott pályázatok támogatása.

2008-ban a Szakosztályon belül megalakult a Szikesvízi Munkacsoport *Boros Emil* és *Vörös Lajos* vezetésével folytatta tevékenységét. Célja a szikesekkel foglalkozó tudományok és szakterületek összefogása. Munkájukat a www.szikesviz.hu honlapon teszik közzé.

A Hidrobiológus Napok egy-egy aktuális témakör megismertetésére évente általában egy évközi rendezvényt tartottunk, de gyakori volt, hogy a területi szervezetek vagy más intézmények rendezvényeihez csatlakoztunk.

KIADVÁNYOK

A Hidrobiológus Napok „*Program és előadáskivonatok*” füzetei a rendezvény teljes programját és az előadások tartalmi kivonatait tartalmazzák. Ezeket 2014-2017 között *Tóth Viktor* szerkesztette. A Hidrobiológus Napok teljes anyaga szakmai bírálaton esik át és jelenik meg a *Hidrológiai Közöny* adott évi különszámában. Az anonim bírálóknak önzetlen munkájukért itt is szeretnék köszönetet mondani. Hálával tartozunk *Vágás István* és *Fehér János* főszerkesztő uraknak és *Ács Éva* szakszerkesztőnek a nyomdai előkészítésért.

3. táblázat. A Hidrobiológus Napok publikációinak száma a Hidrológiai Közlönyben

2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
37	29	38	32	24	12	19*

* nyomdai előkészületben

2014. LVI. Hidrobiológus Napok, Tihany 2013. október 1-3. „Új módszerek és eljárások a hidrobiológiában”. Hidrológiai Közlöny 95. évf. 5-6. szám (2015., 116 oldal) (53 előadás és poszter).

2015. LVII. Hidrobiológus Napok, Tihany, 2015. október 7-9. „Genetikai és molekuláris-biológiai kutatások jelentősége a hidrobiológiában”. Hidrológiai Közlöny 96. évf. különszám (2016., 109 oldal) (49 előadás és poszter)

2016. LVIII. Hidrobiológus Napok, Tihany, 2016. október 5-7. „Hosszú távú hidrobiológiai kutatások a Kárpát-medencében” Hidrológiai Közlöny 97. évf. különszám (2017., 55 oldal), (42 előadás és poszter).

2017. LIX. Hidrobiológus Napok, Tihany, 2017. október 4-6. „A hidrobiológia helye a víztudományokban” (49 előadás és poszter).

Korábban kiadtuk a *Magyar Hidrobiológus Almanach*, ma már elavultnak tűnő köteteit (2002, 2009), továbbá a Hidrobiológus Napok történetét „*A Hidrobiológus Napok története és jelentőségük (1957-2016)*” nyomdai kiadása az MHT centenáriuma tiszteletére megtörtént (107 old., ISBN 978-963-8172-37-2). Az MHT Centenáriumára készült el „*Az MHT Limnológiai Szakosztály története*”, mely anyagot (5 oldal) a Titkárságnak közlésre beküldtük (2016).

MEGEMLÉKEZÉSEK

Idős, kiemelkedő tevékenységű tagtársak rendezvényeken való részvételét anyagilag támogattuk (részvételi díj elengedése, szállás és étkezési költségek átvállalása). Rendszeresen megemlékezünk idős, nemzetközileg is elismert tagtársainkról, s a Hidrobiológus Napok keretében méltatjuk szakmai életútjukat (ezeket a curriculum vitae-eket megjelentettük a közleményekben is).

Tisztelettel adózunk azoknak a kollégáknak, tagtársainknak, akik köreinkből ez alatt a ciklus alatt eltávoztak: *Ponyi Jenő* (2014), *Érces Károly* (2014), *Présing Máttyás* (2015), *Felföldy Lajos* (2016).

EGYÉB RENDEZVÉNYEK

A magyar hidrobiológia jelentős mérföldkövének jutottunk túl: 2013. augusztus 4-9. között Budapesten, a Nemzetközi Kongresszusi Központban rendeztük meg a 32. SIL Kongresszust, ötszáz résztvevővel. A kongresszus előkészítését és lebonyolítását egy korábban választott testület végezte. Titkára – több váltást követően – *Tóth Viktor* lett, akinek a végzett munkája után, a bizottság többi tagjával együtt, külön köszönetünket fejezzük ki. A rendezvény a Szakosztály 2014-2018. évi tevékenységét is megalapozta.

A Nemzetközi Limnológiai Társaságnak (SIL – www.limnology.org) több ezer tagja van, több mint 80 országban. A szervezet 1930 után (Vth SIL Congress) másodszor tisztelte meg a magyar limnológusokat azzal,

hogy országunkban rendezhettük meg a 32. kongresszust, amelynek témájaként a „*Változatos vizek – gazdag élet*” jelíget választottuk. A kongresszus tematikájának megfelelően foglalkozott az édes vizek biodiverzitásával, a főbb élőlénycsoportok ökológiájával, a limnológia környezeti, klimatikus és antropogén aspektusaival, az édesvizek monitoringjával, modellezésével, és egyes események előrejelzésével. A 32. SIL kongresszuson hét vitaindító, plenáris előadás hangzott el, bemutattva a biodiverzitás csökkenésének és a klímaváltozás hatásának várható eredményeit. A plenáris előadásokat követően a hallgatóság 24 szekciósülésen vett részt. A kongresszus kezdete előtt regisztrált résztvevők száma 550 fő volt, akik 47 országból és 5 kontinensről érkeztek. A kongresszuson 7 plenáris, 287 szóbeli előadás és 117 poszter-bemutatóra került sor, néhány ad-hoc üléssel (www.sil2013.hu).

A MTA támogatta egy szakterületünket érintő akadémiai kutatócsoport indulását. A Pannon Egyetem Limnológia Intézeti Tanszékén alakult meg *Padisák Judit* vezetésével a MTA-PE Limnoökológiai Kutatócsoport, mely a hazai kisvizek kutatását tűzte ki fő feladatául, mely tevékenységét 2014-2018 között eredményesen folytatta.

A KÖTIVIZIG Regionális Laboratóriuma (Szolnok), a Debreceni Egyetem „*Alkalmazott Hidrobiológiai Kihelyezett Tanszék*”-e lett. Az együttműködés során cél: a kutatás, oktatás és a gyakorlati képzés kiszélesítésének lehetősége. A Debreceni Egyetem Hidrobiológiai Tanszéke, az eddigieket követően, újabb MS-képzést indított (2018), a szakember utánpótlás biztosítása érdekében.

A Hidrobiológus Napokkal csaknem egy időben került sorra Budapesten a „Budapesti Víz Világtalálkozó 2016” rendezvényre, ami a világ vízkészleteivel történő gazdálkodás mikéntjéről és jövőjéről szolt. Kidolgozás alatt van „*A Nemzeti Víztudományi Program*”.

A Magyar Hidrológiai Társaság Limnológiai Szakosztálya, az MTA Veszprémi Területi Bizottsága és az MTA ÖK Balatoni Limnológiai Intézete rendezésében 2016. március 21-én az MTA Veszprémi Területi Bizottság székházában a *Víz Világnapja* alkalmából az MTA ÖK Balatoni Limnológiai Intézet munkatársai mutatták be a Limnológiai Intézet történetét, illetve az elmúlt időszak eredményes kutatásait.

A programot *Tóth Viktor*, az MHT Limnológiai szakosztályának titkára vezette. Az előadássorozatot *G.-Tóth László*, az MTA ÖK Balatoni Limnológiai Intézet igazgatója nyitotta meg. Bemutatta a Balaton-kutatás kezdetét a XIX. századtól a Limnológiai Intézet megalakulásig, az Intézet történetét a 90 évvel ezelőtti alapköveteltől egészen a jelenkorig, illetve az Intézet kutatóit foglalkoztató kérdések sokaságát. Az előadó kiemelte a munkatársak áldozatos munkájának fontosságát a tó eutrofizálódásának csökkentésében és a tó vizének megtisztításában.

Somogyi Boglárka, az MTA ÖK Balatoni Limnológiai Intézet munkatársa előadásában kihangsúlyozta a Balaton algamennyiségének csökkenését, illetve az összetételének átrendeződését (kevesebb kékalgá), amit elsősorban a Kis-Balaton vízvédelmi rendszerből a Zala folyón át

érkező víz tápelem összetétel változásával (nitrogén/foszfor arány növekedésével) magyarázott. A kutató rámutatott, hogy a tisztuló vízben megsokszorozódik az üledék felszínére érő fény mennyisége, így a bevonatlakó algák elszaporodása, illetve az üledék felszínéről felszabaduló barna színű algaanyagok megszokott látvány lehet az elkövetkező években.

A balatoni busaállomány történetéről, genetikájáról, szaporodásáról és ökológiai szerepéről tartott érdekesítő előadást *Vitál Zoltán*, a BLI kutatója. Az 1972-es betelepítése óta a busa nem váltotta be a hozzáfűzött reményeket, mert nem szűri ki a fitoplankton a Balaton vizéből, hiszen a tóban az jellemzően zooplanktonnal táplálkozik. A kutató kiemelte, hogy a telepítés 1983-as beszüntetését követően a pettyes és a fehér busa állományai nagy biomasszát értek el, és mind a mai napig jelentős mennyiségben találhatók meg a tóban, így akár a tó teljes halbiomasszájának 1/3-át is kitehetik a fajok egyedei. A tóban a busák külső utánpótlásra szorulnak (a déli parton található halastavakból?), hiszen a busák szaporodása majdnem teljesen kizárható, amit a halakon végzett nagyszámú genetikai vizsgálatok is alátámasztanak.

A Limnológiai Intézet munkatársa, *Takács Péter* bemutatta a legmodernebb molekuláris (genetikai) módszerek használatát a természetvédelemben egy bennszülött Kárpát-medencei (így balatoni) halfaj, a lápi póc példáján. Kiemelte a természetvédelmi célú genetikai vizsgálatok szükségességét ahhoz, hogy a veszélyeztetett fajokat megvéddhessük még azelőtt, hogy ténylegesen az eltűnés szélére sodródjanak.

A Magyar Hidrológiai Társaság Limnológiai Szakosztály, az MTA Veszprémi Területi Bizottsága (VEAB) és az MTA ÖK Balatoni Limnológiai Intézete 2018. március 21-én az MTA Veszprémi Területi Bizottság székházában, a *Víz Világnapja* alkalmából a tihanyi fiatal munkatársak mutatták be a kutatásaik legfrissebb eredményeit. A programot *Tóth Viktor*, az MHT Limnológiai szakosztályának titkára vezette, s meghallgatták *Vitál Zoltán*, az MTA ÖK Balatoni Limnológia Intézet tudományos munkatársának előadását a biológiai inváziókat legjelentősebb ökológiai problémáiról az „*Idegenhonos halfajok Magyarországon (történeti áttekintés és recens elterjedés mintázatok)*” előadásban. Az előadásban történeti áttekintést kapott a hallgatóság az idegenhonos halfajok magyarországi térnyeréséről, illetve az előadó bemutatta a halállomány felméréseik eredményeinek térinformatikai elemzésén keresztül országos és balatoni vízgyűjtő szintjén is egyes (többek között invazív) halfajok elterjedés mintázatait.

Boross Nóra, az MTA ÖK Balatoni Limnológia Intézet tudományos segédmunkatársa számolt be az 50 éve betelepült folyami géb állományainak nagyfokú szíjgalandfereg fertőzöttségéről a „*Szíjgalandfereg fertőzés a folyami géb (Neogobius fluviatilis) balatoni állományában*” előadásában. A kutató az előadásában bemutatta a balatoni gébek fertőzöttségének mértékét (2017-ben az állomány 26%), illetve értelmezte a fertőzöttség területi és szezonális mintázatát, dinamikáját, illetve a hatását a halak kondíciójára és ivarszerv tömegére.

Tóth Mónika, az MTA ÖK Balatoni Limnológia Intézet tudományos munkatársa a „*Történeti kutatások árvaszűnyog-maradványok alapján*” előadásában beszámolt arról hogyan használják a kutatók az árvaszűnyogokat a tavi környezet múltbeli változásainak jelzésére, valamint a múltbeli klimatikus változások mennyiségi becslésére. Az előadó bemutatta, hogy ezek az apró rovarok milyen jelentős mértékben járulhatnak hozzá a történeti kutatásokhoz. *Tugyi Nóra*, az MTA ÖK Balatoni Limnológia Intézet tudományos segédmunkatársa beszámolt a baktériumok szerepéről az édesvízi tavakban a „*Bakterioplankton szerepe a víztestekben*” címmel. Megtudhattuk, hogy az algák mellett a vízben lebegő baktériumoknak is fontos szerepe van a vizek élővilágában. Szerepük elsősorban a szénkörforgalomban nyilvánul meg, amely során szerves szén hasznosítanak és maguk is adnak hozzá a vízi rendszerhez.

RÉSZVÉTEL A TÁRSASÁGI ÉLETBEN

A Szakosztály részt vesz és előadókát biztosít központi nagyrendezvényeken, vándorgyűléseken. Közös rendezvényeket szerveztünk az MHT helyi szervezeteivel, Nemzeti Parkokkal, illetve az MTA tudományos bizottságaival.

Munkabizottság

A Szakosztály képviselte a Magyar Hidrológiai Társaság bizottságaiban és vezetőségében biztosított: Vitális Sándor Szakirodalmi Nívódíj Bizottság (*Ács Éva*). Nemzetközi Kapcsolatok Bizottsága (*Máté Ferenc*). Elnökség (*Kis Keve Tihamér*), Hidrológiai Közlöny szerkesztőbizottsága (*Bíró Péter*), Kitüntetések Bizottsága (*Dévai György*). A *Lászlóffy Woldemár* diplomamunka pályázat bíráló bizottság munkájában a pályamunkák bírálatával rendszeresen részt veszünk. Köszönet illeti mindannyiukat azért, hogy a Szakosztály érdekvédelmét ellátták a Társaság különböző testületeiben.

Nemzetközi kapcsolatok

Padisák Judit SIL alelnöke volt 2007-2013 között, Istvánovics Vera a SIL Magyar Nemzeti képviselője (2010-től). Névleg képviseljük (*Zsuga Katalin, Bíró Péter*) a magyar hidrobiológiát a EFFE-ben, anyagiak híján egyelőre levelezés és információ csere szintjén. A Szakosztály tagjai számos nemzetközi szervezetben, szerkesztőbizottságban fejtenek ki aktív munkát.

Ifjúságpolitika

Fontos feladatunk a szakmai utánpótlás nevelése, számukra szakmai fórumok, pályázati lehetőségek biztosítása. A Szakosztály tagsága folyamatosan fiatalodik. Rendezvényeinkben sok az egyetemista, főiskolás résztvevő, zömmel előadóként (Ph.D.). Az ifjúsági pályázatokon való részvétel, szakdolgozatok bírálati évről-évre növekvő feladatot adnak. Az „ifjodás” különösen a Hidrobiológus Napok résztvevőin látszik. Sajnos, a csökkenő részvétel fő oka, hogy az egyetemeinken a Hidrológiai Közlönyben megjelent dolgozatokat alul értékelik.

Oktatás

A Szakosztály önálló oktatói tevékenységet nem végez ugyan, de tagjai szerteágazóan érintettek a felsőfokú oktatásban, a graduális és posztgraduális képzésben. Kutatóink és oktatóink aktív részvétele az oktatásban

széleskörű, Ph.D. képzésben való szerepük meghatározó. Hidrobiológia (limnológia) oktatása több egyetemen és főiskolán folyik. Az egyetemeken alapított Ph.D. iskolákban a hidrobiológia-ökológia kellő súlyú szerepet kapott.

Pályázatok

A Szakosztály tagjai több egyéni, illetve ifjúsági és kutatási-tematikai pályázatot nyertek A tihanyi székhelyű „Balatonkutatási Alapítvány” Ponyi Jenő, majd Vörös Lajos, ill. Présing Mátyás (haláláig a Kuratórium elnöke és az Alapítvány jogi képviselője) vezetésével, a Balatonnal, illetve annak vízgyűjtőjével foglalkozó, a Balaton működésének jobb megértését szolgáló, a tő megóvását elősegítő kutatásokat támogatott.

A Szakosztály tagjai több egyéni (MTA Bolyai János Pályázata, Széchenyi Professzori Pályázat), illetve ifjúsági és kutatási-tematikai pályázatot nyertek el (NKFIH, NKFP, OMFB, főhatósági stb.)

Kitüntetések

Az MHT Limnológiai Szakosztály vezetősége továbbra is szorgalmazta a Vitális Sándor Szakirodalmi Nívódíj és a Lászlóffy Woldemár szakdolgozati pályázatokat: az egyéni pályázatokat és a Limnológiai Szakosztály javaslatát (egy-egy jelöltre). Képviselőtünket a Bíráló Bizottságban továbbra is Dr. Ács Éva látja el.

Pro Aqua kitüntetésben részesültek: dr. Zsuga Katalin (2015), *Teszárné Nagy Mariann* (2016)

Schafarzik Emlékéremben részesültek: dr. Lakatos Gyula (2014), Dr. Kiss Keve Tihamér, az MHT alelnöke (2015)

2015-ben a Vitális Sándor Szakirodalmi Nívódíjat Dr. Borics Gábor, Görgényi Judit, dr. Grigorszky István, dr. Török-Krasznai Enikő, Nagy-László Zsolt, Dr. Tóthmérész Béla, dr. Várbíró Gábor szerzők publikációja nyerte „The role of phytoplankton diversity metrics in shallow lake and river quality assessment (A fitoplankton diverzitás mérőszámainak szerepe tavak és vízfolyások ökológiai állapotértékelésében). *Ecological Indicators* 45 (2014) 28-36 (Elsevier)

2016-ban a Vitális Sándor Szakirodalmi Nívódíjat Antal László, László Brigitta, Petr Kotlik, Mozsár Attila, Czeglédi István, Oldal Miklós, Kemenesi Gábor, Jakab Ferenc, Nagy Sándor Alex szerzők közleménye nyerte el: „Phylogenetic evidence for a new species of *Barbus* in the Danube River basin” (*Filogenetikai bizonyíték egy új márnafaj létezésére a Duna vízgyűjtőjén*). *Molecular Phylogenetics and Evolution* 96: 187-194 (2016 március)

A Magyar Érdemrend Középkeresztje polgári tagozata kitüntetést kapta (2014) Dr. Berczik Árpád, akadémikus, az MTA Ökológiai Kutatóközpontja Duna-kutató Intézetének nyugalmazott igazgatója, professor emeritus és Dr. Bíró Péter akadémikus, professor emeritus (Tihany), a Limnológiai Szakosztály elnöke, az MHT tiszteleti tagja.

Veszprém megyei Prémium díjban részesült Herodek Sándor (2018).

VEZETŐSÉG AKTIVITÁSA ÉS TERVEI

A Szakosztály jelenlegi vezetősége tizenkettő tagból áll, országos területi és intézményi megoszlásban. Aktív szakmai előkészítés, határozott tudománypolitikai szerep, területi szervezetekkel való kapcsolattartás a vezetőség állandó feladata, de a Társaság életében való mélyebb részvétel, sokszínűbb részesedést a tagtársak helyett nem pótolhatjuk. Vitális Sándor Szakirodalmi Nívódíjra, társasági kitüntetésre minden évben felterjesztettünk egy vagy két jelöltünket. Helyezéseink általában jók. A módszerek oktatása céljából a vezetőség szorgalmazta a Tihanyi Hidrobiológus Napok során tartott félnapos módszertani blokkot (terepvizsgálatok, biológiai vízminősítés, biomonitorozás), amely a szakmai kérdéseken túl praktikus kérdésekkel foglalkozott, mintegy előkészítve a napjainkban igencsak aktuális EU-normatívákhoz történő igazodást. A Szakosztály vezetőségének „public relations” tevékenységét tükrözik a helyi- és MTV ill. rádióriportok. A Hidrobiológus Napok megnyitóira a Balatonfüredi TV, a Siófoki TV és a helyi sajtó rendszeresen meghívást kap, s az eseményekről folyamatosan tudósít. A Szakosztály részéről a hidrobiológia (limnológia) krónika-szerű folyamatos bemutatásához az MHT nyújt lehetőséget.

Régi igény, hogy a Magyar Hidrológiai Társaságon belül intenzívebbé kell tenni a társ-szakosztályokkal és főleg a szakmai bizottságokkal való együttműködést; Anyagi alapokat kell(ene) teremteni a rendezvények szervezéséhez és a szakmai publikációs lehetőségekhez (pl. alapítványi támogatással, mely részben megvalósult). Növelni kell a hazai rendezvényeinken a nemzetközi részvétel (ha erre mód nyílik), illetve aktuális témákban nemzetközi rendezvények szervezése kívánatos lenne. Növelni kell a Szakosztály szakmai súlyát és meghatározó szerepét a hazai vízgazdálkodás stratégiai fontos környezet- és természetvédelmi kérdéseinek kidolgozásában, illetve megvalósításában; nagy szükség volna a Szakosztály életét, szervezeti felépítését és tevékenységét bemutató honlapra. Számos esetben kívánatos lenne, hogy - mint független testület - szakmai kérdésekben állást foglaljunk, véleményünket közérthetően, nyilvánosságra hozzuk. Persze, ennek feltétele, hogy meg is kérdezzenek minket.

Végül ismételtelen szeretném megköszönni a Limnológiai Szakosztály tagjainak és vezetőségének az elmúlt négy év során biztosított támogatását és együttműködését, az MHT Titkárságának az ügyvitelben tapasztalt gondosságát. Külön szeretném kifejezni hálámat a Szakosztály tagjainak, hogy 1991-től folyamatosan megtisztelték azzal, hogy az elnöki teendőket elláthattam.

Megbízatusunkat kitöltöttnek tekintem, s eddigi bizalmukat tisztelettel megköszönöm, s kérem a tisztújító közgyűlést, hogy a Vezetőséget testületileg felmenteni szíveskedjék.